

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

**Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента **Найди Владислава Олеговича**

академічної групи **172-16зск-1**

спеціальності **172 Телекомунікації та радіотехніка**

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою **Телекомунікації та радіотехніка**

на тему **Удосконалення способу обміну службовою інформацією при передачі**

**даних в мобільній системі зв'язку**

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
розділів:				
спеціальний	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

**Дніпро  
2019**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавра**

студенту Найді Владиславу Олеговичу академічної групи 172-16зск-1  
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і назва спеціальності)

на тему Удосконалення способу обміну службовою інформацією при передачі даних в мобільній системі зв'язку

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Дослідити методи поділу каналів, обраний і обґрунтований метод кодування й загальної структури кодека	20.03.2019
Розділ 2	Розробка способу та алгоритму кодування, що використовує розширений код Ріда-Мюллера першого порядку. Розробка способу декодування, що використовує швидке зворотне перетворення Адамара. Розробка структурної схеми пристрою кодування/декодування системи мобільного зв'язку множинного доступу	30.05.2019
Розділ 3	Визначення трудомісткості та витрат на розробку й експериментальне дослідження, розрахунок загальної вартості розробки	15.06.2019

Завдання видано

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Корнієнко В.І.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: 08.01.2019р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: 17.06.2019р.

Прийнято до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Найда В.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: \_\_\_\_ с., \_\_\_\_ рис., \_\_\_\_ табл., \_\_\_\_ додатків, \_\_\_\_ джерел.

Об'єкт досліджень: система мобільного зв'язку множинного доступу з кодовим розподілом каналу.

Ціль дипломної роботи: аналіз і дослідження методів кодування в системах мобільного зв'язку множинного доступу. Вибір і обґрунтування оптимального методу кодування для передачі інформації в мережах мобільного зв'язку, а також розробка обраного методу і його технічна реалізація.

У першому розділі були досліджені методи поділу каналів, обраний і обґрунтований метод кодування й загальної структури кодека.

У другому розділі був розроблений спосіб і алгоритм кодування, що використовує розширений код Рида-Мюллера першого порядку. Розроблено спосіб і алгоритм декодування, що використовує швидке зворотне перетворення Адамара. А також розроблена структурна схема пристрою кодування/декодування системи мобільної зв'язку множинного доступу.

У розділі економіки була визначена трудомісткість і витрати на розробку й дослідження, а також собівартість винаходу.

Практична цінність: підвищення якості зв'язку, підвищення завадостійкості, зниження рівня енергоспоживання й потужності випромінювання, підвищення ефективності використання частотного діапазону.

КАНАЛ ПОКАЗНИКА ШВИДКОСТІ, МЕТОДИ КОДУВАННЯ,  
КODOBИЙ РОЗПОДІЛ КАНАЛІВ, КОДЕК, ПОВТОРЮВАЧ

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: \_\_\_\_ с., \_\_\_\_ рис., \_\_\_\_ табл., \_\_\_\_ приложений, \_\_\_\_ источники.

Объект исследований: система мобильной связи множественного доступа с кодовым разделением канала.

Цель дипломной работы: Анализ и исследование методов кодирования в системах мобильной связи множественного доступа. Выбор и обоснование оптимального метода кодирования для передачи информации в сетях мобильной связи, а также разработка выбранного метода и его техническая реализация.

В первом разделе были исследованы методы разделения каналов, выбран и обоснован метод кодирования и общей структуры кодека.

Во втором разделе был разработан способ и алгоритм кодирования, использующий расширенный код Рида-Мюллера первого порядка. Разработан способ и алгоритм декодирования, использующий быстрое обратное преобразование Адамара. А также разработана структурная схема устройства кодирования/декодирования системы мобильной связи множественного доступа.

В разделе экономики была определена трудоемкость и расходы на разработку и исследование, а также себестоимость изобретения.

Практическая ценность: повышение качества связи, повышение помехоустойчивости, понижение уровня энергопотребления и мощности излучения, повышение эффективности использования частотного диапазона.

КАНАЛ ПОКАЗАТЕЛЯ СКОРОСТИ, МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ, КОДОВОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ, КОДЕК, ПОВТОРИТЕЛЬ.

## ABSTRACT

Explanatory note: \_\_ pag, \_\_ fig., \_\_ tab., \_\_ additions, \_\_ sources.

Object of researches: system mobile plural access with code channel division.

The purpose of degree work: the Analysis and research of methods of coding in systems of a mobile communication of plural access. A choice and a substantiation of an optimum method of coding for an information transfer in mobile communication networks, and also working out of the chosen method and its technical realisation.

In the first section methods of division of channels have been investigated, the method of coding and the general structure of the codec is chosen and proved.

In the second section the way and the algorithm of the coding using the expanded code of Reed-Muller of the first order have been developed. The way and the algorithm of decoding using fast return transformation by Adamar is developed. And also the block diagramme of the device of coding/decoding of system mobile связи plural access is developed.

In economy section labour input and expenses on working out and research, and also the invention cost price have been defined.

Practical value: improvement of quality, noise stability increase, fall of level of power consumption and capacity of radiation, increase of efficiency of use of a frequency range.

THE CHANNEL OF THE INDICATOR OF SPEED, CODING METHODS,  
CODE DIVISION OF CHANNELS, THE CODEC, THE REPEATER

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БМ	–	бездротова мережа;
ДК	–	додатковий канал;
ДК-ОБР	–	додатковий зворотній канал;
КПШП	–	канал показчика швидкості передачі;
КПШП-ОБР	–	канал показчика швидкості передачі по зворотному каналі;
КРК	–	кодовий розподіл каналу;
СП	–	селестічні послідовності;
ЧРК	–	частотний розподіл каналу;
ЧСРК	–	часовий розподіл каналу;
АМР	–	аналоговий стандарт;
CELP	–	лінійне пророкування з кодовим порушенням;
GSM, PDC, D-AMPS	–	цифрові стандарти для мобільного зв'язку;
QoS	–	показчик якості сервісу.

## ЗМІСТ

с.

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ .....	10
1.1 Методи кодування-декодування в системах мобільного зв'язку множинного доступу .....	10
1.1.1 Метод із частотним розподілом каналу зв'язку .....	11
1.1.2 Метод з часовим розподілом каналу зв'язку .....	12
1.1.3 Метод з кодовим розподілом каналу зв'язку .....	13
1.1.4 Характеристики сигналів у каналах з кодовим розподілом .....	13
1.2 Додатковий зворотний канал, що забезпечує змінну швидкість передачі (R-SCH). Канал показчика швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку (R-RICH) .....	15
1.3 Методи кодування й коди, які використовуються в системах мобільного зв'язку множинного доступу з кодовим розподілом каналів .....	19
1.4 Вибір і обґрунтування методу кодування й узагальненої структури кодека.....	26
1.5 Висновок .....	29
РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	30
2.1 Розробка способу кодування, що використовує розширений код Ріда-Мюллера першого порядку .....	30
2.1.1 Розробка алгоритму кодування.....	30
2.1.1.1 Пристрій кодування типу (24,1) .....	39
2.1.1.2 Пристрій кодування типу (24,2) .....	42
2.1.1.3 Пристрій кодування типу (24,3) .....	46
2.1.1.4 Пристрій кодування типу (24,4) .....	50
2.1.1.5 Пристрій кодування типу (24,5) .....	55
2.1.1.6 Пристрій кодування типу (24,6) .....	60
2.1.1.7 Пристрій кодування типу (24,7) .....	67

2.2 Розробка способу декодування, що використовує швидке зворотне перетворення Адамара.....	74
2.3 Розробка структурної схеми пристрою кодування/декодування системи мобільного зв'язку множинного доступу .....	77
2.4 Висновок .....	79
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	81
3.1 Визначення трудомісткості розробки й дослідження .....	81
3.2 Розрахунок витрат на розробку й експериментальне дослідження .....	81
3.3 Витрати на придбання апаратної частини .....	83
3.4 Висновок .....	83
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	86
ДОДАТОК А.....	88
ДОДАТОК Б .....	89
ДОДАТОК В .....	90
ДОДАТОК Г .....	91



## ВСТУП

Метою роботи є аналіз та дослідження методів кодування в системах мобільного зв'язку множинного доступу; вибір та обґрунтування оптимального методу кодування для передачі інформації у мережах мобільного зв'язку, а також розробка вибраного метода та його технічна реалізація. Технологія багато-станційного доступу з кодовим поділом каналів (Code Division Multiple Access - CDMA) одержує усе більше широке поширення в сучасних системах радіозв'язку різного призначення. Сьогодні подібні системи, що базуються на технології CDMA, знаходять застосування в стільникових системах рухливого зв'язку, системах бездротового абонентського доступу, супутникових системах рухливого зв'язку, бездротових ЛПІ та ін.

В CDMA системах кожний голосовий потік відзначений своїм унікальним кодом і передається на одному каналі одночасно з багатьма іншими кодованими голосовими потоками. Приймаюча сторона використовує той же код для виділення сигналу із шуму.

Технологія CDMA забезпечує:

- краща якість зв'язку в порівнянні з іншими стандартами, особливо усередині будинків, "м'яку" передачу абонента від станції до станції;
- високу надійність (навіть при наявності постійної вузькосмугової перешкоди у використовуваному частотному діапазоні);
- високий рівень інформаційної безпеки (не знаючи унікальний код абонента, виділити його трафік із загального сигналу практично неможливо);
- ряд додаткових служб (передача коротких текстових повідомлень між абонентами, передача даних і факсимільних повідомлень);
- знижений рівень енергоспоживання й потужності випромінювання в порівнянні з іншими стандартами;
- більше ефективне використання частотного діапазону (в 3-4 рази вище, ніж GSM, і в 8-10 разів вище, ніж AMPS); при фіксованому зв'язку ці співвідношення підвищуються приблизно вдвічі.

На сьогоднішній день розгляд питання про кодовий поділ каналу в мобільному зв'язку є актуальним, оскільки кількість абонентів зростає з кожним днем, особливо це виражається у великих обласних центрах, і поділ каналу є необхідним у системах мобільного зв'язку.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Методи кодування-декодування в системах мобільного зв'язку множинного доступу

Поняття множинного доступу має на увазі сукупність заходів щодо забезпечення можливості паралельної роботи багатьох користувачів у рамках частотно-тимчасового ресурсу, виділеного даній системі. Ототожнюючи кожного абонента з деяким фізичним каналом, можна сказати, що конкретна технологія множинного доступу є спосіб розподілу обмеженого частотно-тимчасового ресурсу між каналами. Нехай  $S_i(t)$  - сигнал, за допомогою якого реалізується  $i$ -й канал зв'язку,  $i = 1, 2, \dots$ , де  $K$ - повне число каналів системи. Дотримуючись лінійної моделі фізичного середовища поширення, ігноруючи несуттєві в даному контексті ефекти багатолучевості й уважаючи супутній шум  $n(t)$  аддитивним, коливання, спостережуване прийомною стороною, можна представити у формі:

$$y(t) = \sum_{i=1}^K a_i s_i(t - \tau_i) + n(t),$$

де  $a_i$ ,  $\tau_i$  - відповідно загасання й затримка  $i$ -го сигналу на трасі поширення. Кожний із сигналів, що входять у перший доданок цього вираження, містить специфічне повідомлення, передане  $i$ -м користувачем (або адресоване йому). Завдання прийомної сторони складається у виділенні повідомлення конкретного абонента, причому сторонні сигнали при цьому виступають у ролі що заважають.

Як відомо, для лінійної селекції будь-якого компонента суперпозиції сигналів з усуненням впливу інших компонентів необхідна й достатня лінійна незалежність всіх сигналів. Ортогональні сигнали, що є лінійно незалежними й визначаються рівністю:

$$\int_0^{T_p} S_i(t) S_j(t) dt = \int_0^{\Delta f_p} \tilde{S}_i(f) \tilde{S}_j(f) df = \begin{cases} 0, i \neq j \\ E_i, i = j \end{cases}$$

де  $E_i$  - енергія  $i$ -го сигналу;  $T_p$  і  $\Delta f_i$ - відповідно часовий і частотний ресурс, що відводиться системі,  $S_i(f)$  - спектр  $i$ -го сигналу, розділяються без взаємних перешкод звичайним кореляційним приймачем. Ортогональність каналних сигналів може бути забезпечена за рахунок їх частотного або тимчасового розносу, або підходящого кодування. Відповідно до цього встановилася й класифікація методів множинного доступу.

### 1.1.1 Метод із частотним розподілом каналу зв'язку

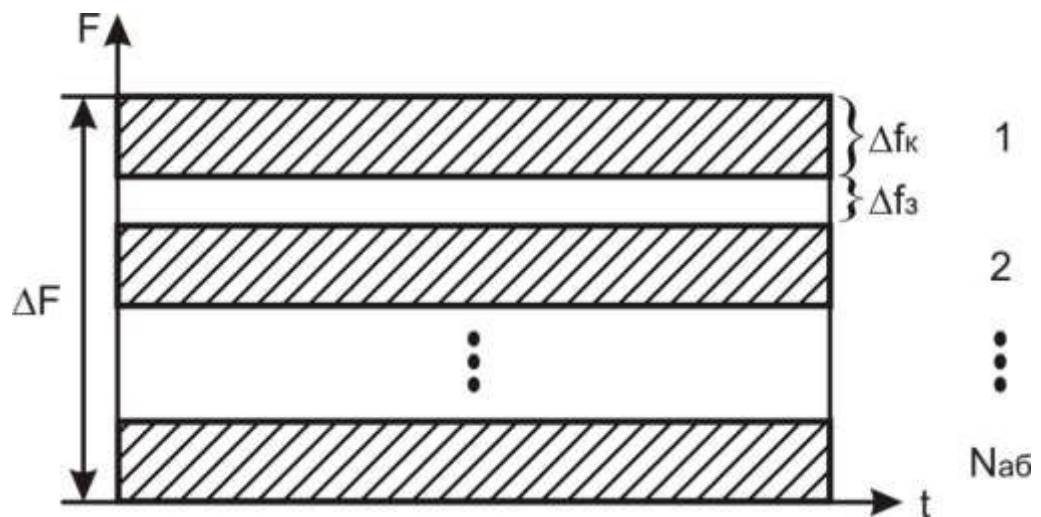


Рисунок 1.1 – Частотний розподіл каналу

Багатостанційний доступ зі ЧРК – найбільш простий із трьох методів множинного доступу як по своїй ідеї, так і по можливості реалізації. У цьому методі кожному користувачеві на час сеансу зв'язку виділяється свій частотний канал зі смугою частот  $\Delta f$ .

Основне слабе місце ЧРК – недостатньо ефективне використання смуги частот. Ця ефективність помітно підвищується при переході до більше зробленого методу ЧСРК, що дозволяє відповідно підвищити ємність системи стільникового зв'язку.

### 1.1.2 Метод з часовим розподілом каналу зв'язку

Багатостанційний доступ із ЧСРК також досить простий по ідеї, але значно складніше в реалізації, чим ЧРК. Суть методу ЧСРК полягає в тому, що кожний частотний канал розділяється в часі між декількома користувачами, тобто частотний канал по черзі надається декільком користувачам на певні проміжки часу.

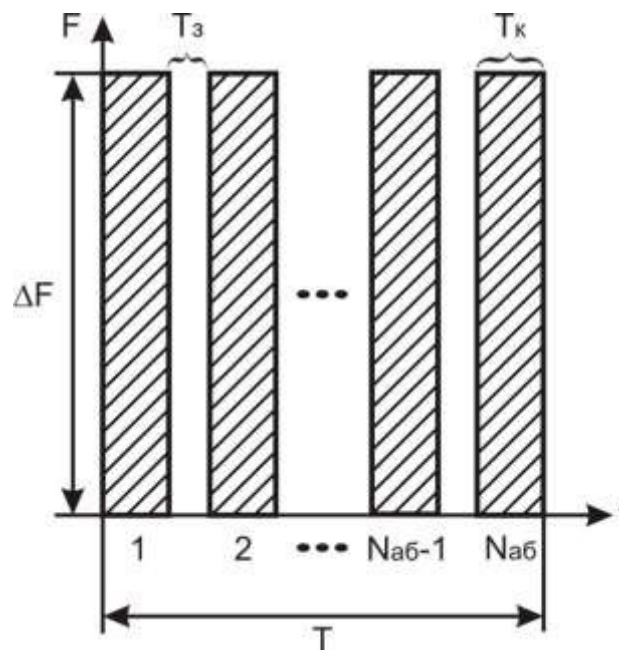


Рисунок 1.2 – Часовий розподіл каналу

Практична реалізація методу ЧСРК вимагає перетворення сигналів у цифрову форму й характерного «стиску» інформації в часі. Цифрова обробка сигналів і схема ЧСРК використовуються в стандартах стільникового зв'язку другого покоління D-AMPS, GSM, PDC. Особливо наочний щодо цього стандарт D-AMPS: при збереженні тієї ж смуги частотного каналу  $\Delta f = 30$  кГц, що й в аналоговому стандарті АМР, число фізичних каналів у ньому зростає втриє.

Метод ЧСРК, однак, сам по собі не реалізує всіх потенційних можливостей по ефективності використання спектра. Відома перевага щодо цього має метод КРК.

### 1.1.3 Метод з кодовим розподілом каналу зв'язку

При багатостанційному доступі із КРК більша група користувачів (наприклад, від 30 до 50) одночасно використовує загальну відносно широку смугу частот - не менше 1 МГц. Метод КРК досить складний і не тільки відносно принципів побудови, але й у плані практичної реалізації. Як і ЧСРК, метод КРК може бути реалізований тільки в цифровій формі. При розгляді методу КРК будемо значною мірою орієнтуватися на технічні рішення, закладені в американському стандарті IS-95 і реалізовані в розробках компанії Qualcomm (США) - це перші практичні пророблення по методу КРК у застосуванні до стільникового зв'язку.

### 1.1.4 Характеристики сигналів у каналах з кодовим розподілом

Основна особливість методу КРК – робота в широкій смузі частот, значно перевищуючу смугу сигналу мови, у сполученні з таким кодуванням інформації кожного з фізичних каналів, що дозволяє виділяти її із загальної широкої смуги, використовуваної одночасно всіма фізичними каналами. Система зв'язку, що реалізує КРК, є системою з розширеним спектром – спектр інформаційного повідомлення штучно розширюється за допомогою модуляції (кодування) періодичною селестічною послідовністю імпульсів з досить малим дискретом. Для одержання ширини спектра більше 1 МГц, що принципово важливо для успішної роботи в умовах багатопроменевого поширення, тривалість дискрета послідовності, що модулює, повинна бути менш 1 мкс. Зазначені загальні принципи – розширення спектра за рахунок модуляції селестічною послідовністю в сполученні з кодовим поділом фізичних каналів - однозначно визначають і загальні достоїнства методу КРК: високу завадостійкість, гарну пристосованість до умов багатопроменевого поширення, високу ємність системи.

Завадостійкість методу по відношенню як до вузькосмугових, так і широкосмугова перешкод може бути пояснена в такий спосіб. Модуляція сигналу селестічною послідовністю при передачі вимагає його повторної

модуляції тією же послідовністю при прийманні (що еквівалентно демодуляції сигналу), у результаті чого відновлюється вихідний сигнал. При цьому підбор затримки демодулюючої послідовності виробляється з точністю до дискрету послідовності, і правильному значенню затримки відповідає максимальний відгук на виході фільтра-демодулятора. Якщо перешкода вузькосмугова, то демодулююча селестічна послідовність при прийманні впливає на неї як модулює, тобто «розмазує» її спектр по широкій смузі  $W_{ss}$ , у результаті чого у вузьку смугу сигналу  $W_s$  попадає лише  $1/G$  частина потужності перешкоди, так що вузькосмугова перешкода буде ослаблена в  $G$  раз, де  $G = W_{ss}/W_s \sim$  виграш обробки, дорівнює відношенню смуги розширеного спектра  $W_{ss}$  до смуги  $W_s$  вихідного сигналу. Наприклад, при  $W_{ss} = 1,23$  МГц і  $W_s = 19,2$  кГц виграш обробки становить  $G = 65$ . Якщо ж перешкода широкосмугова - зі смугою порядку  $W_{ss}$  або ширше, те демодуляція не змінює ширини її спектра, і в смузі сигналу перешкода попадає ослабленої в стільки разів, у скільки її смуг ширше смуги  $W_s$  вихідного сигналу.

Можливість успішної роботи в умовах багатопроменевого поширення також безпосередньо пов'язана з кореляційним прийомом. Якщо кореляційний приймач має кілька каналів і кожний з них може бути настроєний на свою затримку сигналу, то різні канали можуть бути погоджені по затримці із сигналами, що пройшли по різних шляхах, а сигнали з виходів всіх каналів після відповідного вирівнювання в часі можуть бути просумовані. Завмирання сигналу (фединг), пов'язані з багатопроменевим поширенням, самі по собі є частотно-селективними й помітно послабляються при смузі сигналу більше 200-300 кГц. При цьому ослаблення сигналів у методі КРК на 20-30 дБ менше в порівнянні зі ЧРК або ЧСРК. Ємність системи при використанні методу КРК також зростає.

У стандарті КРК IS-95 домінуюче значення при виборі виду селестічних послідовностей (СП) для формування широкосмугового сигналу (ШСС) у ССС мають насамперед взаємні й автокорреляційні характеристики ансамблю сигналів, його обсяг, простота реалізації пристроїв формування й “стиску”

(згортки) сигналів у приймачі. У цьому зв'язку для формування переданої фазоманіпульованої послідовності імпульсів ШСС використовуються лінійні М-Послідовності і їхні сегменти. Для розширення обсягу ансамблю сигналів<sup>15</sup> застосовують тридцятилітні (похідні) СП, сформовані на основі М-Послідовностей і послідовностей Уолша.

У стандарті IS-95 для модуляції сигналу використовується три види функцій: "коротка" і "довга" СП і функції Уолша з номерами від 0 до 63. Останні широко застосовуються при цифровій обробці сигналів і є в деякому змісті дискретним аналогом синусоїд (косинусоїд) кратних частот. Довжина короткої СП становить  $2^{15} - 1 = 32767$  символів, довгої СП –  $2^{24} - 1 \approx 4,4 \cdot 10^{12}$  символу.

Тривалість дискрету (символу) для всіх трьох функцій, що модулюють, однакова (для функцій Уолша мається на увазі функції вищого порядку - 63) і відповідає частоті проходження символів 1,2288 МГц. Цим значенням і визначається займана системою із КРК смуга частот.

1.2 Додатковий зворотний канал, що забезпечує змінну швидкість передачі (R-SCH). Канал показника швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку (R-RICH)

Справжній винахід ставиться, у загальному випадку, до пристрою й до способу кодування/декодування в системі мобільного зв'язку МДКР (CDMA) (множинного доступу з кодовим розподілом) і, зокрема, до пристрою й способу передачі каналу показника швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку (КПШП-ОБР) (R-RICH), використовуваному в системі мобільного зв'язку із синхронною передачею даних.

У загальному випадку, функціонування схеми передачі зі змінною швидкістю передачі забезпечують, по суті, за допомогою додаткового зворотного каналу (ДК-ОБР) (R-SCH). В "схемі передачі зі змінною швидкістю передачі" рухлива станція довільним образом змінює швидкість своєї передачі. Зміна швидкості передачі даних, у загальному випадку, приводить до зміни швидкості передачі кодів з виправленням помилок, використовуваних при



побудові кадру, частоти повторення символів, а також довжини й типу кодів Уолша, використовуваних для рознесення по спектрі. Отже, рухлива станція повинна передати в базову станцію повідомлення про швидкість передачі даних по додатковому зворотному каналі в сучасний момент часу для того, щоб приймач базової станції міг правильно здійснювати прийом по додатковому зворотному каналі. Призначений для цього канал називають каналом показника швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку (КПШП - ОБР) (R-RICH).

Кількість різних швидкостей передачі даних, які можуть бути передані рухливою станцією по додатковому зворотному каналі, залежить від кількості додаткових зворотних каналів, які можуть бути одночасно використані рухливою станцією. Кількість додаткових зворотних каналів визначає базова станція, що під час процедури встановлення телефонного з'єднання враховує обсяг даних, призначена для передачі по зворотному каналі, а потім передає повідомлення про це в рухливу станцію. Тому кількість інформаційних бітів, переданих по каналі показника швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку, змінюється залежно від кількості додаткових зворотних каналів. Тобто, у тому випадку, коли кількість додаткових зворотних каналів дорівнює 1, рухлива станція посиляє повідомлення про швидкість передачі даних по зворотному каналі з використанням 4-х бітів. А в тому випадку, коли кількість додаткових зворотних каналів дорівнює 2, рухлива станція посиляє повідомлення про швидкість передачі даних по зворотному каналі з використанням 7-мі бітів. Оскільки кількість додаткових зворотних каналів, які можуть бути одночасно використані рухливою станцією, не може бути змінене доти, поки з базової станції не буде прийнята спеціальна команда, рухлива станція здійснює передачу по каналі показник швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку або інформації, що складає з 7-мі бітів, або інформації, що складає з 4-х бітів. Тобто, рухлива станція ніколи не здійснює одночасну передачу інформації, що складає з 4-х бітів, і інформації, що складає з 7-мі бітів. Як код з виправленням помилок, використовуваного в

каналі показчика швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку, звичайно задають код типу (24,4) або типу (24,7).

Недолік каналу показчика швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку ( КУСП-ОБР) (R-RICH) полягає в тому, що кількість переданих бітів, за допомогою яких здійснюють передачу відомостей про швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку, залежить тільки від кількості додаткових зворотних каналів. Тобто, при визначенні кількості бітів, переданих по додатковому зворотному каналі, не враховують кількість різних швидкостей передачі даних, на яких рухлива станція може здійснювати передачу по додатковому зворотному каналі. У тому випадку, коли кількість переданих бітів задають поза залежністю від кількості різних швидкостей передачі даних, на яких рухлива станція може робити передачу по додатковому зворотному каналі, може виявитися, що рухлива станція здійснює передачу більшої кількості бітів, чим фактично необхідна кількість бітів. Наприклад, у тому випадку, коли кількість додаткових зворотних каналів дорівнює 1, а кількість різних швидкостей передачі даних (або їх "різновидів"), на яких рухлива станція може здійснювати передачу по додатковому зворотному каналі, дорівнює 4, мінімальна кількість бітів, необхідних для передачі відомостей про швидкості передачі даних, дорівнює 2. Однак у системах з відомого рівня техніки, у тому випадку, коли кількість додаткових зворотних каналів дорівнює 1, мінімальна кількість бітів, необхідних для передачі відомостей про швидкості передачі даних, дорівнює 4.

У загальноприйнятому способі, у якому кількість бітів, призначених для передачі по каналі показчика швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку, залежить від кількості додаткових зворотних каналів, кількість бітів, переданих по каналі показчика швидкості передачі по зворотному каналі зв'язку, перевищує їхню необхідна кількість. Передача надлишкової кількості бітів по каналі показчика швидкості передачі по зворотному каналі приводить до зростання швидкості кодування за допомогою пристрою кодування, що утрудняє застосування оптимального способу кодування.

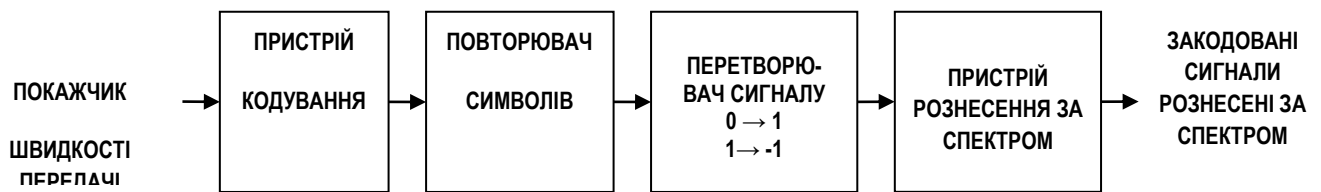


Рисунок 1.3 - Структура передавача КПШП-ОБР (R-RICH)

На рис.1.3 показана структура передавача КПШП-ОБР (R-RICH). Пристрій 100 кодування здійснює кодування показника швидкості передачі на вході, що складається або з 4-х бітів, або з 7-мі бітів, і здійснює вивід 24-х закодованих символів. Повторювач 110 символів виконує 16-кратне повторення 24-х закодованих символів, що надійшли із пристрою 100 кодування. Перетворювач 120 сигналу виконує операцію перетворення сигналу із закодованими символами, отриманими з виходу повторювача 110 символів, шляхом їхнього перетворення з 0 в 1 і з 1 в -1. Пристрій 130 рознесення по спектрі здійснює рознесення символів, підданих перетворенню сигналу, по спектрі.

Як показано на рис.1, показник швидкості передачі складається з 4-х бітів або з 7-мі бітів, а перед передачею здійснюють його кодування у вигляді 24-х закодованих символів. У випадку виникнення помилок при передачі закодованого показника швидкості передачі у вигляді закодованих символів, показник швидкості передачі може неправильно вказувати швидкість передачі коду по відповідному додатковому зворотному каналі, частоту повторення символів, а також довжину й вид коду Уолша, за допомогою якого здійснюють рознесення по спектрі. У результаті, приймач не може правильно здійснювати аналіз додаткового зворотного каналу. Тому кодування показника швидкості передачі необхідно здійснювати за допомогою пристрою кодування типу (24,4) або типу (24,7), що має гарну продуктивність. Крім цього, для забезпечення виконання аналізу відповідного додаткового каналу декодування показника

швидкості передачі необхідно здійснювати з максимально можливою швидкістю.

Отже, завданням справжнього винаходу є створення такого пристрою й способу кодування показника швидкості передачі, які мають оптимальну продуктивність.

### 1.3 Методи кодування й коди, які використовуються в системах мобільного зв'язку множинного доступу з кодовим розподілом каналів

Коди для системи CDMA – ключове поняття, оскільки ця технологія заснована на кодовому поділі каналів. Застосування в CDMA кодових послідовностей дозволяє більш ефективно, ніж за допомогою інших технологій доступу, боротися з перешкодами й завмираннями в радіоканалі.

Цілком правочинне питання, а чи не зайво використання в CDMA додаткового кодування й перемеження символів? Чи не можна обійтися обробкою тих кодових послідовностей, які й без того передаються по радіоканалі? Теоретично, це можливо, але лише тоді, коли всі послуги мають однакові показники якості сервісу (QoS). На ділі ж типи переданої інформації різноманітні (мова, факсимільні повідомлення, короткі повідомлення, мультимедіа, потоки Internet-Даних), і кожному з них відповідають різні показники QoS (показник якості сервісу), швидкість, припустима затримка й т.д.

Кодування й перемеження служать для підвищення вірогідності прийому сигналів в умовах впливу перешкод і при завмираннях корисного сигналу.

Канальне кодування. Вважається, що чим більше надлишкових символів уводиться в сигнал, тим більше його база й тим вище коригувальна здатність коду. Однак це твердження справедливо лише частково. Суть у тім, що один з основних показників якості передачі – відношення сигнал/шум  $E_b/N_0$  (де  $E_b$  – енергія сигналу на біт,  $N_0$  – спектральна щільність шуму) – можна підвищити й без кодування, тільки за рахунок збільшення тривалості сигналу. Застосування кодування (а як наслідок, ускладнення апаратури) виправдано лише в тих

випадках, коли воно дозволяє одержати істотний виграш у величині відносини  $E_b/N_0$ .

Відзначимо, що для каналів з випадковим характером помилок (звичайно з аддитивними перешкодами типу «білого шуму») практичний інтерес представляють лише кілька кодів з десятків відомих. Найбільше часто розроблювачі використовують три види кодів: згортуючі, Ріда-Соломона й турбокоди.

Сполучення декількох схем завадостійкого кодування дозволяє врахувати різні умови експлуатації. Так, сверточний код звичайно використовується для передачі мовного трафіку, коли ймовірність помилки на біт може бути досить великий. При передачі даних, коли потрібно більше висока надійність, застосовуються так звані каскадні коди, у яких зовнішнім звичайно є код Ріда-Соломона, а внутрішнім - згортуючий.

Процедура кодування в CDMA-Системах виконується у два етапи. На першому нівелюються розходження у відносинах сигнал/шум  $E_b/N_0$  (ця функція апаратно реалізується за допомогою кодера) різних типів трафіку, а на другому погодяться швидкості (апаратно реалізується за допомогою схем повторення й виключення біт).

Усунення розходжень у відношенні сигнал/шум. В CDMA-кодері можуть використовуватися одна або дві із чотирьох типових ланцюжків, що кодують: сверточное кодування, каскадне кодування (зовнішній код Ріда-Соломона + перемеження зовнішнього коду + сверточний код), турбокодування й спеціальне кодування. Перша з них, як ми вже відзначали, використовується для кодування мовних сигналів, дві наступні - даних, а остання, відповідно до її назви, - спеціальних сигналів.

Кодування мови має ряд принципових особливостей. Насамперед, необхідно забезпечити інтерактивний зв'язок у режимі реального часу, при якій затримка, пов'язана з обробкою інформації, не повинна перевищувати припустимої величини. Використовувані в CDMA мовні кодеки засновані на різних модифікаціях алгоритму CELP (лінійне пророкування з кодовим

порушенням), що дозволяє домогтися не тільки ефективного стиску мовного сигналу, але й кодування із заданим відношенням сигнал/перешкода при ймовірності помилки не більше  $10^{-3}$ .

На відміну від мовних кодерів, «джерела» даних, як правило, не мають власних (убудованих) процедур кодування. Підвищення завадостійкості встаткування, призначеного для передачі такої інформації, зважається на канальному рівні (модель OSI); при цьому ймовірність помилки повинна бути не більше  $10^{-6}$ .

У проектах нових CDMA-Стандартів, у тому числі на системи 3-го покоління, використовуються ці ж схеми кодування. Необхідно відзначити, що якщо параметри сверточних кодів для них практично уніфіковані (кодове обмеження  $K=9$ , швидкість кодування  $R=1/3, 1/2$ ), характеристики турбокодів різняться. Так, у проекті CDMA2000 турбокоди з параметрами  $K=4$  і  $R=1/4$  ( $1/3, 1/2$ ) використовуються, у тих випадках, коли швидкість передачі становить не менш 14,4 кбит/с. У технології UTRA/W-CDMA передбачається застосовувати турбокодування при більших швидкостях передачі даних (32 кбит/з і вище); при цьому характеристики кодів будуть уже іншими:  $K=3$  і  $R=1/3$  або  $1/2$ .

Вибір швидкості кодування нижче  $R=1/4$  не вигідний, тому що реально досяжний виграш у величині відносини сигнал/шум виявляється незначним, а складність декодування різко зростає в міру зниження швидкості кодування. Наприклад, для сверточного коду з  $K=9$ ,  $R=1/4$  у порівнянні з кодом  $K=9$ ,  $R=1/2$  перевищення становить близько 0,5 дБ.

Слід зазначити, що два розглянутих випадки (передачі мови й даних з QoS (показник якості сервісу), обумовленим ймовірністю помилки на біт  $10^{-3}$  і  $10^{-6}$ ) не вичерпують усього спектра можливих кодів. Іноді для розширення функціональних можливостей радіоінтерфейсу потрібно адаптувати певний клас кодів до конкретного виду передачі інформації, для чого використовуються спеціальні коди. Одним з типових прикладів спеціальних

кодів є нерівномірний захист від помилок, необхідна для деяких типів мовних кодеків. Можливі й інші варіанти спеціального кодування.

Узгодження швидкостей. Коли усунуті розходження по показнику сигнал/шум для різних видів інформації, починається другий етап кодування. Основна його ціль - забезпечити узгодження між змінними швидкостями передачі логічних каналів і фіксованою швидкістю на вході широкосмугового CDMA-Модулятора. Якщо мультиплексуються потоки, для яких задані однакові показники QoS (показник якості сервісу), процедура узгодження не потрібна. Вона необхідна тільки при передачі даних з різними вимогами до обслуговування.

Узгодження швидкостей може бути статичним і динамічним, тобто змінюючимся від кадру до кадру. Статичне узгодження здійснюється досить рідко, звичайно при додаванні або видаленні каналу. При цьому переслідується мета змінити швидкість кодованого потоку таким чином, щоб можна було використовувати стандартні засоби мультиплексування даних. Узгодження реалізується за допомогою двох процедур:  $n$ -кратного повторення кодованих символів і періодичного виключення («виколлювання») кожного  $j$ -го символу (puncturing). Далі ці процедури узгодження будуть пояснені на конкретних прикладах ланцюжків, що кодують.

Динамічне узгодження каналів здійснюється після операції націлити й дозволяє забезпечити відповідність миттєвої швидкості групового транспортного каналу пропускної здатності фізичного каналу.

Якщо обсяг переданої інформації занадто великий і перевищує максимальну пропускну здатність каналу, то дані розбиваються на блоки меншого розміру й операції кодування й переміщення для них виконуються незалежно. Таку процедуру також прийнято відносити до узгодження швидкостей.

Переміщення. Якби зроблені коди з виправленням помилок не використовувалися в каналах із завмираннями, вони не можуть гарантувати високої вірогідності прийому. Основна причина - різке зниження

коригувальних здатностей кодів з появою в каналі пакетів помилок, викликаних сильними перешкодами й завмираннями. Спроби створення спеціальних кодів, здатних виправляти подібні серії помилок, уживали неодноразово (коди Хагелбаргера, Файера й т.п.), однак через величезну обчислювальну складність, експоненціально зростаючої зі збільшенням довжини пакета помилок, вони не знайшли практичного застосування.

Із цієї ситуації був знайдений досить несподіваний і простий вихід: виконання операції декодування у два етапи дозволяє майже повністю позбутися від перешкод. На першому етапі виробляється декореляція пакетів помилок, у результаті якої вони перетворюються в групу випадкових (звичайно одиночних) помилок. На другому етапі сигнал обробляється за допомогою класичних методів боротьби з випадковими помилками (сверточные коди, турбокоди), що приводить до їхнього повного придушення.

Для боротьби із завмираннями й виникненням пов'язаних з ними пакетів помилок служить процедура перемеження. Вона складається в перестановці символів кодової послідовності до її модуляції й відновленні вихідної послідовності після демодуляції. Перестановка дозволяє так рознести поруч варті символи, щоб вони виявилися розділені групою інших символів, переданих у тім же блоці даних. Дана операція не вносить надмірності, а тільки змінює порядок проходження символів або біт. Однак чим більше глибина перемеження (тобто максимальна відстань, на яке розносяться сусідні символи вхідної послідовності), тим більше затримка.

Пояснимо ідею перемеження на прикладі багатокрокового перемежителя (MIL, Multi-Stage Interliving). Принцип його роботи досить простий. Вихідна кодова послідовність із  $L$  символів розбивається на  $M$  блоків по  $N$  символів у кожному й перетворюється в матрицю розміром  $L=[N \times M]$ , де  $N$  - число символів у рядків, а  $M$  - число стовпців. Операція блокового перемеження полягає в послідовному рядковому записі вхідних даних і зчитуванні цієї інформації зі стовпців. У результаті порядок проходження символів у вихідній послідовності буде змінений, наприклад  $k$ -я рядок матриці буде виглядати як



$\{k, M+k, 2M+k, \dots (N-1)(M+k)\}$ . З наведеного запису видно, що два будь-яких сусідніх символи вхідної послідовності будуть рознесені в радіоканалі на  $M-1$  символ.

Максимальна відстань, на яке розносяться сусідні символи (тобто глибина перемеження) визначається як  $d=TM$  (де  $T$  - тривалість символу). Якщо час, протягом якого відбувався збій сигналу, менше глибини перемеження, будь-який пакет помилок буде перетворений у групу з  $M$  одиночних помилок, які легко усуваються сверточним кодом.

У загальному випадку вибір глибини перемеження залежить від двох факторів. З одного боку, чим більше відстань між сусідніми символами, тим більшої довжини пакет помилок може бути виправлений. З іншого боку, чим більше глибина перемеження, тим складніше апаратно-програмна реалізація встаткування й більше затримка сигналу.

Розрізняють зовнішнє й внутрішнє перемеження. Внутрішнє перемеження звичайно здійснюється в межах одного кадру, зовнішнє - у межах інтервалу з декількох кадрів (звичайно розміром від 10 до 80 мс).

Унікальність технології, що використовує кодовий поділ каналів (CDMA) полягає в тому, що кожний логічний канал відображається на фізичний індивідуальним образом. Таким чином, цей канал відрізняється від інших не тільки своїми функціональними можливостями й швидкістю, але й типом використовуваного коду і його параметрів.

IS-95. Для захисту від помилок у системах цього стандарту використовується сверточне кодування із внутріканальним перемеженням. У передавальному тракті базової станції (лінія «долілиць») реалізовані три ланцюжки, що кодують для синхроканалу (SYNC), пейджингового каналу (PCH), основного й допоміжного каналів трафіку (FCH/SCH). На лінії «нагору» (до мобільної станції) використовуються два ланцюжки - для каналу доступу (ACH) і каналу трафіку (FCH/SCH). Безупинно випромінюваний пілотний сигнал не вимагає застосування додаткових кодів.

До складу кожного ланцюжка, що кодує, входять сверточний кодер з параметрами  $K=9$ ,  $R=1/2$  (базова станція) і  $K=9$ ,  $R=1/3$  (мобільна станція), повторювач і блоковий перемежувач (глибина перемежування 20 мс). Коефіцієнт повторення при різних конфігураціях каналу трафіку дорівнює 2, 4 або 8. При максимальній швидкості вхідного потоку символи не повторюються.

Канали, у яких використовуються коди, що різняться, і закони перемежування, мають різні рівні потужності при прийманні, а отже, різні ймовірності помилок при прийманні.

CDMA2000. Завадостійке кодування в системі CDMA2000 реалізується за допомогою сверточних і турбокодів. Сверточний код використовується у всіх каналах F-FSH і F-SCH, а також в інших каналах зі швидкістю нижче 14,4 кбит/з (при більшій високій швидкості сверточний код хоча й застосовується, але не так ефективний, як турбокоди).

Принципи формування сигналів і параметри кодування в каналах SYNC, PCH, ACH практично однакові із застосовуваними в системах на базі IS-95. Основна відмінність полягає в тому, що швидкість передачі даних по каналі доступу ACH становить 9,6 або 4,8 кбит/з (більше низька із цих швидкостей призначається по команді базової станції у випадку погіршення умов прийому).

При кодуванні кожного з CDMA-Каналів утворюються чотири ланцюжки, що кодують. Їхня структура визначається швидкістю вхідного потоку й може динамічно змінюватися залежно від завадової обстановки й умов поширення радіохвиль. Кожний ланцюжок, що кодує, складається з коду виявлення помилок CRC (6-12 біт), восьми кінцевих біт (вони необхідні для спрощення процедури декодування сверточного коду), сверточного коду з параметрами  $K=9$ ,  $R=1/3$ , повторювачів ( $n=2, 4, 8$ ), блоків «вирізання» біт і внутрікадрового перемежувача (20 мс).

UTRA/W-CDMA. Для більш ефективного використання фізичного каналу CDMA-Системи при передачі низькоскоростної інформації

передбачається націлити декількох низькоскоростних потоків даних в одному фізичному каналі. Параметри кодування для всіх транспортних каналів, крім виділеного DCH, однакові ( $K=9$ ,  $R=1/2$ ). Для виділеного каналу DCH при швидкості передачі інформації більше 32 кбит/з використовується турбокод  $K=3$ ,  $R=1/3$ .

У технології W-CDMA глибина перемеження, що обирається для транспортних каналів, залежить від величини припустимої затримки. У специфікаціях зазначені чотири значення: 10 мс (перемеження в межах кадру), 20, 40 і 80 мс.

#### 1.4 Вибір і обґрунтування методу кодування й узагальненої структури кодека

Вирішення поставленого завдання пропонується виконати шляхом розробки способу кодування з застосуванням розширеного коду Ріда-Мюллера першого порядку, та наступної технічної реалізації розробленого способу.

Однією з особливостей є те, що запропонован спосіб кодування в системі мобільного зв'язку, за допомогою якого здійснюють прийом від 1-го до 7-мі вхідних інформаційних бітів і вивід потоку закодованих символів, що містить у собі 24 закодованих символу, що залежать від заздалегідь заданої кількості вхідних інформаційних бітів. Спосіб кодування містить у собі наступні операції: виконують кодування вхідних інформаційних бітів за допомогою кодів Уолша  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_4$ ,  $W_8$  і  $W_{16}$  і масок  $M_1$  і  $M_2$ , усе з яких мають заздалегідь задану довжину, і здійснюють вивід потоку закодованих символів, що містить у собі заздалегідь задана кількість закодованих символів; заздалегідь визначають безліч сукупностей місць розташування символів, що видаляються, відповідних кожному з можливих варіантів кількості вхідних інформаційних бітів, і визначають місця розташування символів, що видаляються, відповідній кількості вхідних інформаційних бітів, із заздалегідь певних сукупностей місць розташування символів, що видаляються; і з потоку закодованих символів, що містить у собі заздалегідь задана кількість закодованих символів, видаляють окремі закодовані символи, що перебувають

в отримані в результаті операції визначення місця розташування символів, що видаляються, і здійснюють вивід потоку закодованих символів, що містить у собі 24 закодованих символу.

Іншою особливістю є запропонований пристрій кодування в системі мобільного зв'язку, за допомогою якого здійснюють прийом від 1-го до 7-мі входних інформаційних бітів і вивід потоку закодованих символів, що містить у собі 24 закодованих символу, що залежать від заздалегідь заданої кількості входних інформаційних бітів. Пристрій кодування містить у собі: генератор кодів Уолша, за допомогою якого здійснюють генерацію 5-ти різних кодів Уолша  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_4$ ,  $W_8$  і  $W_{16}$ , що мають заздалегідь задану довжину; генератор масок, за допомогою якого здійснюють генерацію 2-х різних масок  $M_1$  і  $M_2$ ; безліч множників, за допомогою яких взаємо-однозначним способом виконують множення входних інформаційних бітів на коди Уолша  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_4$ ,  $W_8$  і  $W_{16}$  і маски  $M_1$  і  $M_2$  і здійснюють вивід заздалегідь заданої кількості потоків закодованих символів; засіб виконання операції "що виключає АБО", за допомогою якого виконують операцію "що виключає АБО" над потоками закодованих символів, що надходять із множників, і здійснюють вивід одного потоку закодованих символів; і пристрій видалення окремих символів, за допомогою якого визначають місця розташування символів, що видаляються, відповідній кількості входних інформаційних бітів, у безлічі сукупностей місць розташування символів, що видаляються, відповідних кожному з можливих варіантів кількості входних інформаційних бітів, виконують видалення з потоку закодованих символів, що надходить із засобу виконання операції "що виключає АБО", закодованих символів, розташованих у тих місцях розташування символів, що видаляються, які отримані в результаті операції визначення, і здійснюють вивід потоку закодованих символів, що містить у собі 24 закодованих символу.

Ще однією особливістю є запропонований спосіб декодування в системі мобільного зв'язку, за допомогою якого здійснюють прийом потоку закодованих символів, що містить у собі 24 закодованих символу, і вивід від 1-

го до 7-мі вхідних інформаційних бітів, отриманих з потоку закодованих символів. Спосіб декодування містить у собі наступні операції: визначають місця розташування вилучених символів виходячи з інформації про довжину послідовності вхідних інформаційних бітів; вставляють нулі (0) в отримані в результаті операції визначення місця розташування вилучених символів у потоці закодованих символів і здійснюють вивід потоку закодованих символів, що містить у собі заздалегідь задана кількість закодованих символів; вимірюють значення кореляції потоку закодованих символів, у який вставлені нулі, з кодами Уолша W1, W2, W4, W8 і W16 і з масками M1 і M2, що мають конкретну довжину, певну виходячи з інформації про довжину послідовності вхідних інформаційних бітів; і здійснюють вивід вхідних інформаційних бітів результат з обмірюваних значень кореляції.

Ще однією особливістю є запропонований пристрій декодування в системі мобільного зв'язку, за допомогою якого здійснюють прийом потоку закодованих символів, що містить у собі 24 закодованих символу, і вивід від 1-го до 7-мі вхідних інформаційних бітів, отриманих з потоку закодованих символів. Пристрій декодування містить у собі пристрій вставки нулів, за допомогою якого здійснюють вставку нулів (0) у різні місця розташування вилучених символів у потоці закодованих символів залежно від інформації про довжину послідовності вхідних інформаційних бітів; пристрій виміру кореляції, за допомогою якого здійснюють вимір значень кореляції потоку закодованих символів, у який вставлені нулі, з кодами Уолша W1, W2, W4, W8 і W16 і з масками M1 і M2, довжину яких визначають результат з інформації про довжину послідовності вхідних інформаційних бітів; і кореляційний компаратор, за допомогою якого здійснюють вивід вхідних інформаційних бітів результат з обмірюваних значень кореляції.

Для вирішення проблеми необхідно розв'язати наступні задачі:

- створення такого пристрою й способу кодування показника швидкості передачі, які мають оптимальну продуктивність;

- створення такого пристрою й способу, за допомогою яких здійснюють використання оптимального кодового слова за рахунок застосування способу видалення окремих символів розширеного коду Ріда-Мюллера першого порядку таким чином, щоб процес декодування міг бути виконаний за допомогою швидкого зворотного перетворення Адамара;
- створення такого пристрою й способу, за допомогою яких зводять до мінімуму складність апаратних засобів за рахунок мінімізації довжини ортогонального коду перед видаленням його окремих символів;
- створення такого пристрою й способу, за допомогою яких не тільки зводять до мінімуму складність апаратних засобів, здійснюючи видалення окремих символів розширеного ортогонального коду, але також здійснюють генерацію коду, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок;
- створення такого пристрою й способу, за допомогою яких зводять до мінімуму складність апаратних засобів і виконують всі операції кодування, починаючи з кодування типу (24,1) і закінчуючи кодуванням типу (24,7), здійснюючи генерацію коду, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок.

### 1.5 Висновок

В результаті проведеного аналітичного огляду методів розподілу каналів зв'язку, був вибраний і обґрунтований метод та загальна структура з кодека.

Для даного методу сформульовані основні проблеми, вирішення яких дозволяє підвищити ефективність вживання методу кодового розподілу каналу, а також намічені шляхи розробки способів кодування/декодування, що реалізують метод.

Сформульовані мета роботи і конкретний перелік завдань, що вимагають вирішення для досягнення поставленої мети.

## РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розробка способу кодування, що використовує розширений код Ріда-Мюллера першого порядку

#### 2.1.1 Розробка алгоритму кодування

Коди Ріда-Мюллера характеризуються наступними значеннями параметрів:

– довжина коду (кількість двійкових розрядів) —  $h=2\mu$ ;

– кількість інформаційних розрядів —  $k=\sum_{i=0}^{\delta} C_{\mu}^i$ ;

– мінімальна кодова відстань —  $d=2\mu-\delta$ ,

де  $\mu \geq 3$  – будь-яке ціле позитивне число;

$\delta < \mu$  – порядок коду.

Побудова РМ-кодів зводиться до наступного. Спочатку будується матриця, що породжує, перший рядок якої містить  $h$  одиниць. Далі треба  $\mu$  рядків, сукупність яких зручно розглядати як  $(\mu \times h)$ -матрицю, як стовпці якої обрані двійкові числа (починаючи з нуля). Номера розрядів двійкових чисел зручно вважати зверху долілиць. Ці  $\mu$  рядків становлять вектори першого порядку  $\delta$ . Далі йдуть рядки векторів другого порядку, які виходять із всіх добутків двох рядків першого порядку, потім - рядка третього порядку, що є всіма добутками трьох рядків першого порядку, і т.д.

Таким чином, якщо будується матриця  $G$  для коду порядку  $\delta$ , то вона містить один рядок з усіма одиницями,  $\mu$  рядків першого порядку,  $3\mu$  рядків другого порядку,  $3\mu$  рядків третього порядку й т.д. У загальному випадку кількість рядків  $C_{\mu}^0 + C_{\mu}^1 + C_{\mu}^2 + \dots + C_{\mu}^{\delta} = \sum_{i=0}^{\delta} C_{\mu}^i$  і збігається з кількістю інформаційних розрядів  $k$ .

Нехай  $\mu=4$ ,  $\delta=3$ . Побудуємо РМ-код з такими параметрами.

Визначимо довжину коду  $h$ , кількість інформаційних  $k$  і перевірочних розрядів  $r$ :

$$h=2^4=2^4=16$$

$$k=C_4^0 + C_4^1 + C_4^2 + C_4^3 = 1+4+6+4=15$$

$$r=h-k=16-15=1$$

матриця, Що Породжує,  $G$  РМ-коду  $(16,15)$  має вигляд:

$$G = \begin{pmatrix} 1111111111111111 \\ 0101010101010101 \\ 0011001100110011 \\ 0000111100001111 \\ 0000000011111111 \\ 0001000100010001 \\ 0000010100000101 \\ 0000000010101010 \\ 0000001100000011 \\ 0000000000110011 \\ 0000000000001111 \\ 0000000100000001 \\ 0000000000010001 \\ 0000000000000101 \\ 0000000000000011 \end{pmatrix}$$

Перший її рядок складається з  $h=16$  одиниць. Наступні  $3^1_4=4$  рядка є векторами першого порядку, вони утворюють стовпці, які являють собою 4-розрядні двійкові числа, починаючи з нуля. Наступні  $3^2_4=6$  рядків – це вектори другого порядку, вони являють собою результат порозрядного множення різних комбінацій двох рядків першого порядку. Наприклад, при множенні першого рядка першого порядку на другий рядок першого порядку буде отриманий перший рядок другого порядку:

$$\begin{array}{r} (0101010101010101 \\ 0011001100110011 \\ \hline 0001000100010001 \end{array}$$

Наступні  $3^3_4=4$  рядка є векторами третього порядку. Вони утворюються шляхом порозрядного множення різних комбінацій трьох рядків першого порядку.



Наприклад:

$$\begin{array}{r}
 0101010101010101 \\
 0011001100110011 \\
 0000111100001111 \\
 \hline
 0000000100000001
 \end{array}$$

Розглянемо кодування вихідного інформаційного вектора. Нехай потрібно закодувати вектор  $B=b_1 b_2 \dots b_k = 101101100101110$ . Для одержання кодового вектора  $U=u_1 u_2 \dots u_h$  необхідно проаналізувати кожний з  $h=16$  стовпців матриці  $G$ . Одиниці в кожному з них показують, які розряди інформаційного вектора необхідно скласти по модулі два для одержання відповідного розряду кодового вектора:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= b_1 \\
 u_2 &= b_1 \oplus b_2 \\
 u_3 &= b_1 \oplus b_3 \\
 u_4 &= b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_6 \\
 u_5 &= b_1 \oplus b_4 \\
 u_6 &= b_1 \oplus b_2 \oplus b_4 \oplus b_7 \\
 u_7 &= b_1 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_9 \\
 u_8 &= b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_6 \oplus b_7 \oplus b_9 \oplus b_{12} \\
 u_9 &= b_1 \oplus b_5 \\
 u_{10} &= b_1 \oplus b_2 \oplus b_5 \oplus b_8 \\
 u_{11} &= b_1 \oplus b_3 \oplus b_5 \oplus b_{10} \\
 u_{12} &= b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_5 \oplus b_6 \oplus b_8 \oplus b_{10} \oplus b_{13} \\
 u_{13} &= b_1 \oplus b_4 \oplus b_5 \oplus b_{11} \\
 u_{14} &= b_1 \oplus b_2 \oplus b_4 \oplus b_5 \oplus b_7 \oplus b_8 \oplus b_{11} \oplus b_{14} \\
 u_{15} &= b_1 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_5 \oplus b_9 \oplus b_{10} \oplus b_{11} \oplus b_{15} \\
 u_{16} &= b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_5 \oplus b_6 \oplus b_7 \oplus b_8 \oplus \\
 &\quad b_9 \oplus b_{10} \oplus b_{11} \oplus b_{12} \oplus b_{13} \oplus b_{14} \oplus b_{15}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Таким чином, одержуємо кодовий вектор  $U=1101011011110001$ .

Тепер розглянемо зворотнє перетворення - виділення з кодового вектора інформаційних розрядів.

Загальний принцип визначення розрядів  $b_i$  інформаційного вектора  $B$  по кодовому векторі  $U$  полягає в знаходженні таких сукупностей  $u_1 u_2 \dots u_h$  (вони являють собою стовпці матриці  $G$ ), сума яких по модулі два містить тільки одну одиницю в розряді, що відповідає шуканому  $b_i$ .

Наприклад, якщо скласти перші вісім стовпців матриці  $G$ , те одержимо одиницю у дванадцятому розряді, інші розряди будуть нульовими:

$$\begin{array}{r}
 1000000000000000 \\
 \oplus \\
 1100000000000000 \\
 \oplus \\
 1010000000000000 \\
 \oplus \\
 1110010000000000 \\
 \oplus \\
 1001000000000000 \\
 \oplus \\
 1101001000000000 \\
 \oplus \\
 1011000010000000 \\
 \oplus \\
 111101101001000 \\
 \oplus \\
 \hline
 000000000001000
 \end{array}$$

Виходить,  $b_{12} = u_1 \oplus u_2 \oplus u_3 \oplus u_4 \oplus u_5 \oplus u_6 \oplus u_7 \oplus u_8$ .

Однак, у РМ-кодах кожний символ може бути описаний  $d=2^{\mu-\delta}$  рівняннями. У цьому випадку  $d=2^{4-3}=2$ . Дійсно, шуканий розряд можна одержати ще одним способом:  $b_{12} = u_9 \oplus u_{10} \oplus u_{11} \oplus u_{12} \oplus u_{13} \oplus u_{14} \oplus u_{15} \oplus u_{16}$ .

Визначити, суми яких саме розрядів  $u_i$  дорівнюють інформаційному розряду  $b_i$ , можна в такий спосіб. Будемо вважати найближчі друг до друга нульовий і одиничний розряди кожного з  $2^{\mu-l}$  векторів першого порядку (вектори являють собою рядка матриці  $G$ ) парними — рис 2.1.

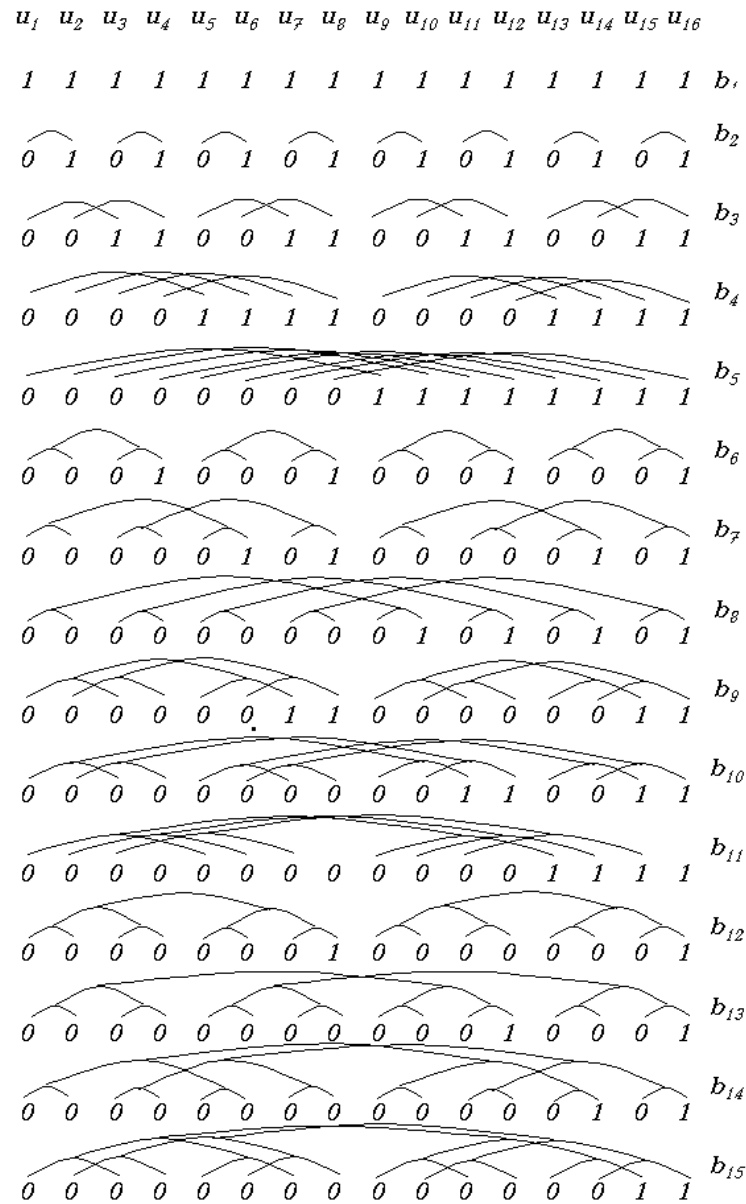


Рисунок 2.1 – Парні розряди векторів матриці G

Тоді одержуємо наступні співвідношення:

$$\begin{aligned}
 b_2 &= u_1 \oplus u_2 = u_3 \oplus u_4 = u_5 \oplus u_6 = u_7 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{10} = u_{11} \oplus u_{12} = u_{13} \oplus u_{14} = u_{15} \oplus u_{16} \\
 b_3 &= u_1 \oplus u_3 = u_2 \oplus u_4 = u_5 \oplus u_7 = u_6 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{11} = u_{10} \oplus u_{12} = u_{13} \oplus u_{15} = u_{14} \oplus u_{16} \\
 b_4 &= u_1 \oplus u_5 = u_2 \oplus u_6 = u_3 \oplus u_7 = u_4 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{13} = u_{10} \oplus u_{14} = u_{11} \oplus u_{15} = u_{12} \oplus u_{16} \\
 b_5 &= u_1 \oplus u_9 = u_2 \oplus u_{10} = u_3 \oplus u_{11} = u_4 \oplus u_{12} = u_5 \oplus u_{13} = u_6 \oplus u_{14} = u_7 \oplus u_{15} = u_8 \oplus u_{16}
 \end{aligned} \tag{2}$$

За умовою побудови матриці G вектори другого порядку є добутком деяких двох векторів першого порядку. Тому кожна з  $2^{\mu-2}$  сум чотирьох розрядів для визначення  $b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}$  утворяться двома парними розрядами першого вектора першого порядку (першого співмножника) і

парними для вже обраних парних розрядів компонентами другого вектора першого порядку (другого співмножника) — рис 1. Наприклад, перший вектор другого порядку є добутком першого й другого векторів першого порядку. Тому:

$$b_6 = u_1 \oplus u_2 \oplus u_3 \oplus u_4 = u_5 \oplus u_6 \oplus u_7 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{10} \oplus u_{11} \oplus u_{12} = u_{13} \oplus u_{14} \oplus u_{15} \oplus u_{16}$$

Аналогічно одержуємо інші співвідношення:

$$\begin{aligned} b_7 &= u_1 \oplus u_2 \oplus u_5 \oplus u_6 = u_3 \oplus u_4 \oplus u_7 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{10} \oplus u_{13} \oplus u_{14} = u_{11} \oplus u_{12} \oplus u_{15} \oplus u_{16} \\ b_8 &= u_1 \oplus u_2 \oplus u_9 \oplus u_{10} = u_3 \oplus u_4 \oplus u_{11} \oplus u_{12} = u_5 \oplus u_6 \oplus u_{13} \oplus u_{14} = u_7 \oplus u_8 \oplus u_{15} \oplus u_{16} \\ b_9 &= u_1 \oplus u_3 \oplus u_5 \oplus u_7 = u_2 \oplus u_4 \oplus u_6 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{11} \oplus u_{13} \oplus u_{15} = u_{10} \oplus u_{12} \oplus u_{14} \oplus u_{16} \\ b_{10} &= u_1 \oplus u_3 \oplus u_9 \oplus u_{11} = u_2 \oplus u_4 \oplus u_{10} \oplus u_{12} = u_5 \oplus u_7 \oplus u_{13} \oplus u_{15} = u_8 \oplus u_{10} \oplus u_{14} \oplus u_{16} \\ b_{11} &= u_1 \oplus u_5 \oplus u_9 \oplus u_{13} = u_2 \oplus u_6 \oplus u_{10} \oplus u_{14} = u_3 \oplus u_7 \oplus u_{11} \oplus u_{15} = u_4 \oplus u_8 \oplus u_{12} \oplus u_{16} \end{aligned} \quad (3)$$

Вектори третього порядку матриці  $G$  утворяться шляхом множення деяких трьох векторів першого порядку. Наприклад, перший вектор третього порядку являє собою добуток першого, другого й третього векторів першого порядку. Тому кожне з  $2^{\mu-3}$  співвідношень для  $b_{12} b_{13} b_{14} b_{15}$  є сумою деяких парних розрядів першого вектора першого порядку, складеної із сумою компонентів другого векторів першого порядку, парних до цих розрядів, і із сумою компонентів третього вектора першого порядку, парних до вже обраних компонентів (рис 2.1). Таким чином, кожна сума містить вісім розрядів:

$$\begin{aligned} b_7 &= u_1 \oplus u_2 \oplus u_5 \oplus u_6 = u_3 \oplus u_4 \oplus u_7 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{10} \oplus u_{13} \oplus u_{14} = u_{11} \oplus u_{12} \oplus u_{15} \oplus u_{16} \\ b_8 &= u_1 \oplus u_2 \oplus u_9 \oplus u_{10} = u_3 \oplus u_4 \oplus u_{11} \oplus u_{12} = u_5 \oplus u_6 \oplus u_{13} \oplus u_{14} = u_7 \oplus u_8 \oplus u_{15} \oplus u_{16} \\ b_9 &= u_1 \oplus u_3 \oplus u_5 \oplus u_7 = u_2 \oplus u_4 \oplus u_6 \oplus u_8 = u_9 \oplus u_{11} \oplus u_{13} \oplus u_{15} = u_{10} \oplus u_{12} \oplus u_{14} \oplus u_{16} \\ b_{10} &= u_1 \oplus u_3 \oplus u_9 \oplus u_{11} = u_2 \oplus u_4 \oplus u_{10} \oplus u_{12} = u_5 \oplus u_7 \oplus u_{13} \oplus u_{15} = u_8 \oplus u_{10} \oplus u_{14} \oplus u_{16} \\ b_{11} &= u_1 \oplus u_5 \oplus u_9 \oplus u_{13} = u_2 \oplus u_6 \oplus u_{10} \oplus u_{14} = u_3 \oplus u_7 \oplus u_{11} \oplus u_{15} = u_4 \oplus u_8 \oplus u_{12} \oplus u_{16} \end{aligned} \quad (4)$$

Нехай даний кодовий вектор  $U=1101011011110001$ . Знайдемо інформаційний вектор.

Скориставшись кожним зі співвідношень (4), визначаємо:

$$b_{12}=u_1\oplus u_2\oplus u_3\oplus u_4\oplus u_5\oplus u_6\oplus u_7\oplus u_8=1\oplus 1\oplus 0\oplus 1\oplus 0\oplus 1\oplus 1\oplus 0=1$$

$$b_{13}=u_1\oplus u_2\oplus u_3\oplus u_4\oplus u_9\oplus u_{10}\oplus u_{11}\oplus u_{12}=1\oplus 1\oplus 0\oplus 1\oplus 1\oplus 1\oplus 1\oplus 1=1$$

$$b_{14}=u_1\oplus u_2\oplus u_5\oplus u_6\oplus u_9\oplus u_{10}\oplus u_{13}\oplus u_{14}=1\oplus 1\oplus 0\oplus 1\oplus 1\oplus 1\oplus 0\oplus 0=1$$

$$b_{15}=u_1\oplus u_3\oplus u_5\oplus u_7\oplus u_9\oplus u_{11}\oplus u_{13}\oplus u_{15}=1\oplus 0\oplus 0\oplus 1\oplus 1\oplus 1\oplus 0\oplus 0=0$$

Для того, щоб визначити  $b_6 - b_{11}$ , необхідно скористатися співвідношеннями (3). Однак, не все із цих співвідношень виконуються.

Наприклад, згідно (3):

$$b_7=u_1\oplus u_2\oplus u_5\oplus u_6=1=u_3\oplus u_4\oplus u_7\oplus u_8=0=u_9\oplus u_{10}\oplus u_{13}\oplus u_{14}=0=u_{11}\oplus u_{12}\oplus u_{15}\oplus u_{16}=1.$$

Це пояснюється тим, що ці співвідношення отримані тільки для матриці, що містить вектори першого порядку, і не виконуються для всієї матриці (з урахуванням векторів другого й третього порядку). Тому, складаючи відповідні стовпці матриці  $G$ , одержуємо одиницю не тільки в розряді, що відповідає  $b_7$ , але й в інших розрядах.

Отже, кодовий вектор  $U$  необхідно перетворити таким чином, щоб для нього були справедливі співвідношення векторів другого, а потім першого порядків.

Для цього до кодового вектора необхідно додати ті вектори (рядка матриці  $G$ ), для яких  $b_i=1$  ( $i=12..15$ ):

$$\begin{array}{r}
 1101011011110001 \\
 \oplus \\
 0000000100000001 \\
 \oplus \\
 00000000000010001 \\
 \oplus \\
 \underline{0000000000000101} \\
 1101011111100100
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 U \\
 \\
 b_{12} \\
 b_{13} \\
 b_{14} \\
 U'
 \end{array}$$

Відповідно до кожного зі співвідношень (3) визначаємо:

$$b_6 = u_1 \oplus u_2 \oplus u_3 \oplus u_4 = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$b_7 = u_1 \oplus u_2 \oplus u_5 \oplus u_6 = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$b_8 = u_1 \oplus u_2 \oplus u_9 \oplus u_{10} = 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$b_9 = u_1 \oplus u_3 \oplus u_5 \oplus u_7 = 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$b_{10} = u_1 \oplus u_3 \oplus u_9 \oplus u_{11} = 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$b_{11} = u_1 \oplus u_5 \oplus u_9 \oplus u_{13} = 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

З урахуванням отриманих значень перетворюємо  $U'$ :

$$\begin{array}{r}
 1101011111100100 \\
 \oplus \\
 0001000100010001 \\
 \oplus \\
 0000010100000101 \\
 \oplus \\
 \underline{0000000000110011} \\
 1100001111000011
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 U' \\
 \\
 b_6 \\
 b_7 \\
 b_{10} \\
 U''
 \end{array}$$

Згідно (2) визначаємо інші інформаційні розряди:

$$b_2 = u_1 \oplus u_2 = 1 \oplus 1 = 0$$

$$b_3 = u_1 \oplus u_3 = 1 \oplus 0 = 1$$

$$b_4 = u_1 \oplus u_5 = 1 \oplus 0 = 1$$

$$b_5 = u_1 \oplus u_9 = 1 \oplus 1 = 0$$

Для знаходження  $b_1$  необхідно ще раз перетворити кодовий вектор:

$$\begin{array}{r}
 1100001111000011 \\
 \oplus \\
 0011001100110011 \\
 \oplus
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 U'' \\
 b_3
 \end{array}$$


---

0000111100001111

b4

1111111111111111

U'''

Критерій визначення  $b_1$  наступний: якщо вектор  $U'''$  містить всі одиниці, то  $b_1=1$ , якщо вектор  $U'''$  — нульовий, то  $b_1=0$ . У нашій прикладі  $b_1=1$ .

Таким чином, інформаційний вектор має вигляд  $V=101101100101110$ .

Як відомо, для виправлення помилок до кратності  $t_H$  й виявлення помилок до кратності  $t_0$  ( $t_0 > t_H$ ) мінімальна кодова відстань повинне задовольняти умові:

$$d \geq t_0 + t_H + 1.$$

Тоді, отриманий РМ-код (16,15) з мінімальною кодовою відстанню  $d=2^{\mu-\delta} = 2^{4-3}=2$  дозволяє виявляти однократні помилки.

Нехай, наприклад, замість кодового вектора  $U=1101011011110001$  був отриманий кодовий вектор з помилкою  $U^0=1101011011010001$ .

Виникла помилка виявляється порушенням рівностей (2)–(4). Наприклад,  $b_{15}=1 \neq 0$ .

Для виправлення помилок необхідно використовувати РМ-код з більшою кодовою відстанню. Наприклад, РМ-код (16,11). При цьому виправлення помилок виробляється за принципом більшості. Він полягає в тім, що значення кожного з  $b_i$  визначається  $2^{\mu-\delta}$  способами. Всі отримані значення підсумуються.

Получено алгебраїчна сума  $S_i$  аналізується в такий спосіб:

$$1) \text{ якщо } 0 \leq S_i \leq \frac{d}{2}, \text{ то } b_i=0;$$

$$2) \text{ якщо } \frac{d}{2} < S_i \leq d, \text{ то } b_i=1;$$

$$3) \text{ якщо } S_i = \frac{d}{2}, \text{ то } b_i=?.$$

Для  $b_1$  достатній наступний критерій:

- 1)  $b_1=0$ , якщо кількість одиниць в отриманому векторі  $< d$ ;
- 2)  $b_1=1$ , якщо кількість одиниць в отриманому векторі  $> d$ .

Існує 7 типів пристроїв кодування, за допомогою яких здійснюють кодування з використанням розширеного коду Ріда-Мюллера першого порядку.

#### 2.1.1.1 Пристрій кодування типу (24,1)

За допомогою запропонованого пристрою кодування типу (24,1) здійснюють генерацію оптимального коду (24,1) шляхом 32-кратного повторення коду Ріда-Мюллера типу (2,1), після чого з повторюваного коду удаляють 40 окремих символів. Незважаючи на те, що існує безліч способів створення коду типу (24,1), використання способу видалення окремих символів коду Ріда-Мюллера першого порядку відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу дозволяє не тільки звести до мінімуму складність апаратних засобів, але також створити таке кодове слово, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок. Припускають, що генерацію кодів з виправленням помилок у варіанті здійснення справжнього винаходу здійснюють із використанням коду Ріда-Мюллера. До того ж, існує можливість звести до мінімуму складність апаратних засобів шляхом мінімізації довжини коду Ріда-Мюллера перед видаленням його окремих символів.

Одержання послідовності закодованих символів довжиною 24 біта на виході пристрою кодування типу (24,1) здійснюють шляхом 32-кратного повторення 2-х закодованих символів, отриманих з виходу генератора коду Ріда-Мюллера типу (2,1), і наступного видалення 40 окремих символів з повторюваних закодованих символів. Зміна місць розташування символів, що видаляються, при видаленні цих 40 окремих символів з послідовності повторюваних закодованих символів довжиною 64 біта приводить до зміни мінімальної відстані  $d_{min}$  кодового слова. Отже, для реалізації пристрою кодування типу (24,1), що володіє високою ефективністю виправлення помилок у послідовності закодованих символів довжиною 64 біта, важливо здійснити



обчислення таких місць розташування символів, що видаляються, за допомогою яких може бути отримана найбільша мінімальна відстань.

Найбільш простою схемою видалення символів із цих 40 місць розташування символів, що видаляються, яку необхідно застосувати для здійснення генерації оптимального лінійного коду типу (24,1), є наступна: (парні місця розташування символів, що видаляються, і місця розташування 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15). У цьому випадку передавач і приймач системи мобільного зв'язку, що роблять передачу 1-го інформаційного біта за допомогою способу кодування/декодування, заздалегідь здійснюють обмін даними про місце розташування цих 40 символів, що видаляються, або виконують їхнє попереднє запам'ятовування іншим способом. Місця розташування символів, що видаляються, звичайно вказують у протоколі зв'язку. В альтернативному варіанті інформація про місце розташування символів, що видаляються, може бути заздалегідь надана за допомогою передавача.

Нижче наведений опис способу кодування за допомогою оптимального коду типу (24,1) відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу з посиланням на рис 2.2 показана структура пристрою кодування, що входить до складу передавача відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. У пристрій 1300 кодування Ріда-Мюллера типу (2,1) подають один вхідний інформаційний біт  $a_0$ . Тут вхідний інформаційний біт  $a_0$  являє собою показник швидкості передачі. Пристрій 1300 кодування Ріда-Мюллера здійснює кодування вхідного інформаційного біта  $a_0$  і вивід послідовності закодованих символів довжиною 2 біти (або потоку закодованих символів). Закодовані символи утворюють собою код Ріда-Мюллера. Ці 2 закодованих символи подають у повторювач 1310. Повторювач 1310 здійснює вивід 64-х закодованих символів шляхом 32-кратного повторення 2-х отриманих закодованих символів. Після одержання цих 64-х закодованих символів пристрій 1320 видалення окремих символів видаляє з отриманих 64-х закодованих символів ті закодовані символи, які розташовані в 40 оптимальних місцях розташування символів, що видаляються, і здійснює вивід послідовності закодованих символів довжиною 24

біта. Пристрій 1320 видалення окремих символів видаляє з 64-х отриманих закодованих символів символи з парними номерами, а також 1-й, 3-й, 5-й, 7-й, 9-й, 11-й, 13-й і 15-й символи, які розташовані у вищевказаних 40 оптимальних місцях розташування символів, що видаляються, а потім здійснює вивід 24-х закодованих символів.

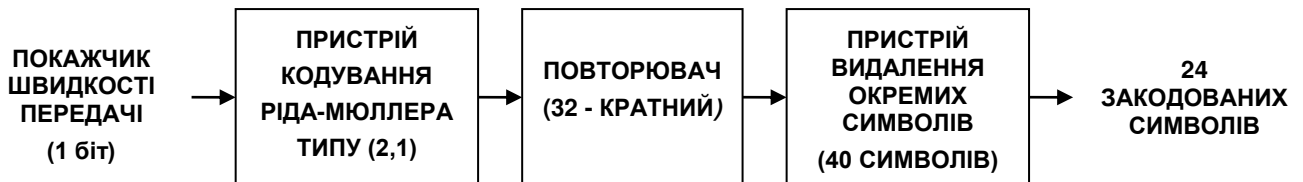


Рисунок 2.2 - Структура пристрою кодування

У загальній теорії кодування відображення взаємозв'язку між вхідною інформацією й закодованими символами здійснюють за допомогою матриці, що породжує. При наявності операцій повторення символів і видалення окремих символів матриця, що породжує, для кінцевого пристрою кодування типу (24,1) має такий вигляд:

$$M=[1111 \ 1111 \ 1111 \ 1111 \ 1111 \ 1111].$$

За допомогою матриці, що породжує, з рівняння 1 здійснюють вибір 24-х символів у першому рядку в тому випадку, якщо вхідний сигнал, що складається з 1-го біта, дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо вхідний сигнал, що складається з 1-го біта, дорівнює 0. У тому випадку, коли не обраний жоден символ, потік символів складається з 24-х нулів (0).

На рис 2.3 показаний пристрій кодування типу (24,1), засноване на вищевказаній матриці, що породжує. Вхідний інформаційний біт  $a_0$ , що має значення 0 або 1, подають у помножувач 1410. У той же самий момент часу генератор 1400 сигналів здійснює вивід одного потоку символів, що представляє собою матрицю, що породжує, що зберігається в

запам'ятовувальному пристрої. Тобто, у генераторі 1400 сигналів запам'ятовують потік символів  $R1=1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, а потік  $R1$  запам'ятованих символів подають у помножувач 1410. Потім у помножувач 1410 виконують множення символів з потоку  $R1$  символів на вхідний інформаційний біт  $a0$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта  $a_n$

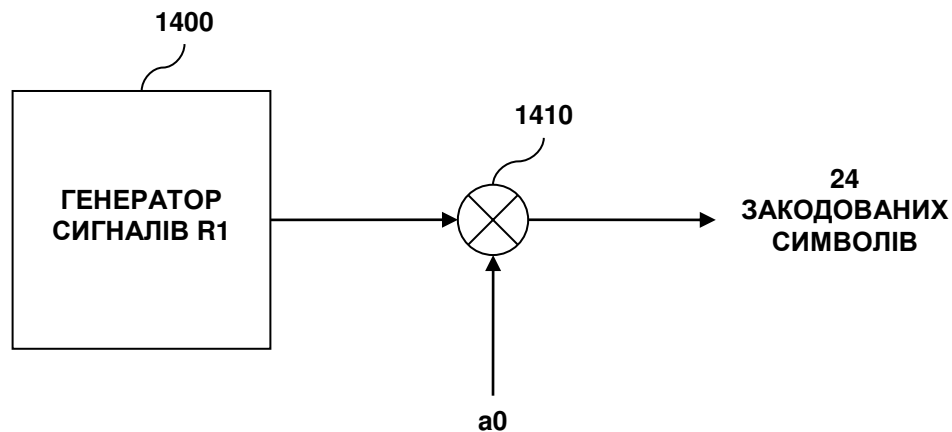


Рисунок 2.3 - Пристрій кодування типу (24,1)

#### 2.1.1.2 Пристрій кодування типу (24,2)

За допомогою запропонованого пристрою кодування типу (24,2) здійснюють генерацію оптимального коду (24,2) шляхом 8-кратного повторення коду Ріда-Мюллера типу (4,2), після чого з повторюваного коду видаляють 8 окремих символів. Незважаючи на те що існує безліч способів створення коду типу (24,2), використання способу видалення окремих символів коду Ріда-Мюллера першого порядку відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу дозволяє не тільки звести до мінімуму складність апаратних засобів, але також створити таке кодове слово, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок. Припускають, що генерацію кодів з виправленням помилок у варіанті здійснення справжнього винаходу здійснюють із використанням коду Ріда-Мюллера. До того ж, існує можливість

звести до мінімуму складність апаратних засобів шляхом мінімізації довжини коду Ріда-Мюллера перед видаленням його окремих символів.

Одержання послідовності закодованих символів довжиною 24 біта на виході пристрою кодування типу (24,2) здійснюють шляхом 8-кратного повторення 4-х закодованих символів, отриманих з виходу генератора коду Ріда-Мюллера типу (4,2), і наступного видалення 8-мі окремих символів з повторюваних закодованих символів. Зміна місць розташування символів, що видаляються, при видаленні цих 8-мі окремих символів з послідовності повторюваних закодованих символів довжиною 32 біта, приводить до зміни мінімальної відстані  $d_{\min}$  кодового слова. Отже, для реалізації пристрою кодування типу (24,2), що володіє високою ефективністю виправлення помилок у послідовності закодованих символів довжиною 32 біта, важливо здійснити обчислення таких місць розташування символів, що видаляються, за допомогою яких може бути отримана найбільша мінімальна відстань.

Найбільш простою схемою видалення символів із цих 8-мі місць розташування символів, що видаляються, яку необхідно застосувати для здійснення генерації оптимального лінійного коду типу (24,2), є наступна: (0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28). У цьому випадку передавач і приймач системи мобільного зв'язку, що роблять передачу 2-х інформаційних бітів за допомогою способу кодування/декодування зі справжнього винаходу, заздалегідь здійснюють обмін даними про місце розташування цих 8-мі символів, що видаляються, або виконують їхнє попереднє запам'ятовування іншим способом. Місця розташування символів, що видаляються, звичайно вказують у протоколі зв'язку. В альтернативному варіанті інформація про місце розташування символів, що видаляються, може бути заздалегідь надана за допомогою передавача.

Нижче наведений опис способу кодування за допомогою оптимального коду типу (24,2) відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. На Рис 2.4 показана структура пристрою кодування, що входить до складу передавача відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. У

пристрій 1500 кодування Ріда-Мюллера типу (4,2) подають два вхідних інформаційних біти  $a_0$  і  $a_1$ . Тут вхідні інформаційні біти  $a_0$  і  $a_1$  утворюють собою показник швидкості передачі. Пристрій 1500 кодування Ріда-Мюллера здійснює кодування вхідних інформаційних бітів  $a_0$  і  $a_1$  і вивід послідовності закодованих символів довжиною 4 біти (або потоку закодованих символів). Закодовані символи утворюють собою код Ріда-Мюллера. Ці 4 закодованих символи подають у повторювач 1510. Повторювач 1510 здійснює вивід 32-х закодованих символів шляхом 8-кратного повторення отриманих послідовностей закодованих символів довжиною 4 біти. Після одержання 32-х закодованих символів пристрій 1320 видалення окремих символів видаляє із цих 32-х закодованих символів 0-й, 4-й, 8-й, 12-й, 16-й, 20-й, 24-й і 28-й символи, що перебувають у вищевказаних 8-мі оптимальних місцях розташування символів, що видаляються, і в такий спосіб здійснює вивід 24-х закодованих символів.

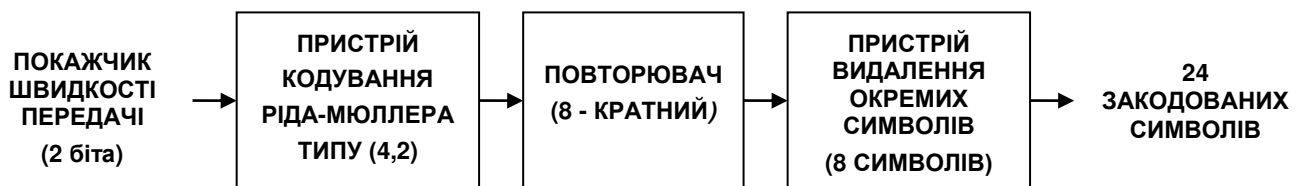


Рисунок 2.4 - Структура пристрою кодування

У загальній теорії кодування відображення взаємозв'язку між вхідною інформацією й закодованими символами здійснюють за допомогою матриці, що породжує. При наявності операцій повторення символів і видалення окремих символів матриця, що породжує, для кінцевого пристрою кодування типу (24,2) має такий вигляд:

$$M = \begin{bmatrix} 101101101101101101101101 \\ 011011011011011011011011 \end{bmatrix}$$

За допомогою матриці, що породжує, з рівняння 2 здійснюють вибір 24-х символів з першого рядка в тому випадку, якщо перший вхідний

інформаційний біт з 2-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із другого рядка в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт з 2-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Генерацію потоку закодованих символів для вхідних інформаційних бітів здійснюють за допомогою операції " що виключає АБО", що виконують посимвольним способом для всіх обраних потоків.

На рис 2.5 показаний пристрій кодування типу (24,2), засноване на вищевказаній матриці, що породжує. Із вхідних інформаційних бітів  $a_0$  і  $a_1$ , що приймає значення 0 або 1, вхідний інформаційний біт  $a_0$  подають у відповідний помножувач 1620, а вхідний інформаційний біт  $a_1$  подають у відповідний помножувач 1622. У той же самий момент часу генератор 1600 сигналів здійснює вивід у відповідні помножувач двох потоків символів, що утворять собою матрицю, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої. Тобто, у генераторі 1600 сигналів запам'ятовують потік символів  $R1=101\ 101\ 101\ 101\ 101\ 101\ 101\ 101$ , що має довжину 24 біта й відповідає першому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подають потік  $R1$  запам'ятованих символів в помножувач 1620. Крім того, у генераторі 1600 сигналів запам'ятовують потік символів  $R2=011\ 011\ 011\ 011\ 011\ 011\ 011\ 011$ , що має довжину 24 біта й відповідає другому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подають потік  $R2$  запам'ятованих символів в помножувач 1622. Потім у помножувачі 1620 виконують множення символів з потоку  $R1$  символів на вхідний інформаційний біт  $a_0$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1640 виконання операції " що виключає АБО". Крім цього, у помножувачі 1622 виконують множення символів з потоку  $R2$  символів на вхідний інформаційний біт  $a_1$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1640 виконання операції " що виключає

АБО". Після цього засіб 1640 виконання операції " що виключає АБО" здійснює посимвольне виконання операції " що виключає АБО" над двома отриманими потоками символів, кожний з яких має довжину 24 біта, і вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта.

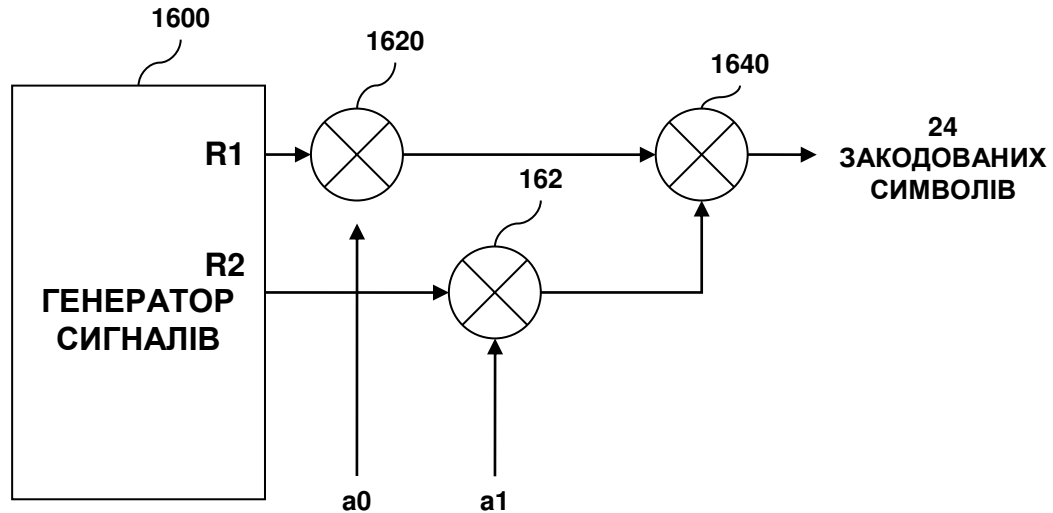


Рисунок 2.5 - Пристрій кодування типу (24,2)

#### 2.1.1.3 Пристрій кодування типу (24,3)

За допомогою запропонованого пристрою кодування типу (24,3) здійснюють генерацію оптимального коду типу (24,3) шляхом 4-кратні повторення коду Ріда-Мюллера типу (8,3), після чого з повторюваного коду видаляють 8 окремих символів. Незважаючи на те що існує безліч способів створення коду типу (24,3), використання способу видалення окремих символів коду Ріда-Мюллера першого порядку відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу дозволяє не тільки звести до мінімуму складність апаратних засобів, але також створити таке кодове слово, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок. Припускають, що генерацію кодів з виправленням помилок у варіанті здійснення справжнього винаходу здійснюють із використанням коду Ріда-Мюллера. До того ж, існує можливість звести до мінімуму складність апаратних засобів шляхом мінімізації довжини коду Ріда-Мюллера перед видаленням його окремих символів.

Одержання послідовності закодованих символів довжиною 24 біта на виході пристрою кодування типу (24,3) здійснюють шляхом 4-кратні повторення 8-мі закодованих символів, отриманих з виходу генератора коду Ріда-Мюллера типу (8,3), і наступного видалення 8-мі окремих символів з повторюваних закодованих символів. Зміна місць розташування символів, що видаляються, при видаленні цих 8-мі окремих символів з послідовності повторюваних закодованих символів довжиною 32 біта приводить до зміни мінімальної відстані  $d_{min}$  кодового слова. Отже, для реалізації пристрою кодування типу (24,3), що володіє високою ефективністю виправлення помилок у послідовності закодованих символів довжиною 32 біта, важливо здійснити обчислення таких місць розташування символів, що видаляються, за допомогою яких може бути отримана найбільша мінімальна відстань.

Найбільш простою схемою видалення символів із цих 8-мі місць розташування символів, що видаляються, яку необхідно застосувати для здійснення генерації оптимального лінійного коду типу (24,3), є наступна: (0, 3, 5, 6, 7, 8, 16, 24). У цьому випадку передавач і приймач системи мобільного зв'язку, що роблять передачу 3-х інформаційних бітів за допомогою способу кодування/декодування зі справжнього винаходу, заздалегідь здійснюють обмін даними про місце розташування цих 8-мі символів, що видаляються, або виконують їхнє попереднє запам'ятовування іншим способом. Місця розташування символів, що видаляються, звичайно вказують у протоколі зв'язку. В альтернативному варіанті інформація про місце розташування символів, що видаляються, може бути заздалегідь надана за допомогою передавача.

Нижче наведений опис способу кодування за допомогою оптимального коду типу (24,3) відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. На рис 2.6 показана структура пристрою кодування, що входить до складу передавача відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. У пристрій 1700 кодування Ріда-Мюллера типу (8,3) подають три вхідних інформаційних біти  $a_0$ ,  $a_1$  і  $a_2$ . Тут вхідні інформаційні біти  $a_0$ ,  $a_1$  і  $a_2$  утворюють



собою показчик швидкості передачі. Пристрій 1700 кодування Ріда-Мюллера здійснює кодування вхідних інформаційних бітів  $a_0$ ,  $a_1$  і  $a_2$  і вивід послідовності закодованих символів довжиною 8 бітів (або потоку закодованих символів). Закодовані символи утворюють собою код Ріда-Мюллера. Ці 8 закодованих символів подають у повторювач 1710. Повторювач 1710 здійснює вивід 32-х закодованих символів шляхом чотириразового повторення отриманих послідовностей закодованих символів довжиною по 8 бітів. Після одержання 32-х закодованих символів пристрій 1720 видалення окремих символів видаляє із цих 32-х закодованих символів 0-й, 3-й, 5-й, 6-й, 7-й, 8-й, 16-й і 24-й символи, що перебувають у вищевказаних 8-мі оптимальних місцях розташування символів, що видаляються, і здійснює вивід 24-х закодованих символів.

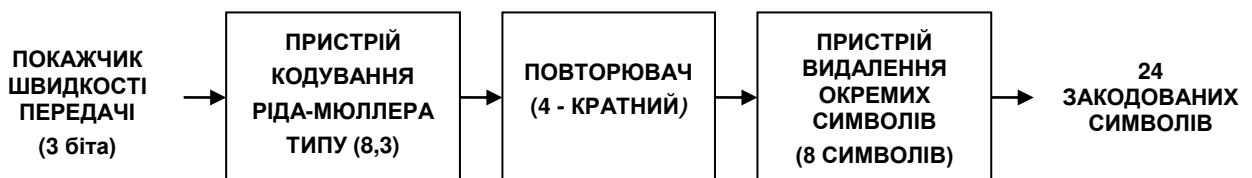


Рисунок 2.6 - Структура пристрою кодування типу (24,3)

У загальній теорії кодування відображення взаємозв'язку між вхідною інформацією й закодованими символами здійснюють за допомогою матриці, що породжує. При наявності операцій повторення символів і видалення окремих символів матриця, що породжує, для кінцевого пристрою кодування типу (24,3) має такий вигляд:

$$M = \begin{bmatrix} 100101010110101011010101 \\ 010011001101100110110011 \\ 001000111100011110001111 \end{bmatrix}$$

За допомогою матриці, що породжує, з рівняння 3 здійснюють вибір 24-х символів з першого рядка в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт з 3-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не

здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із другого рядка в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт з 3-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Крім того, за допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із третього рядка в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт з 3-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Генерацію потоку закодованих символів для вхідних інформаційних бітів здійснюють за допомогою операції "що виключає АБО", що виконують посимвольним способом для всіх обраних потоків.

На Рис 2.7 показаний пристрій кодування типу (24,3), засноване на вищевказаній матриці, що породжує. Із вхідних інформаційних бітів  $a_0$ ,  $a_1$  і  $a_2$ , що приймає значення 0 або 1, вхідний інформаційний біт  $a_0$  подають у відповідний помножувач 1820, вхідний інформаційний біт  $a_1$  подають у відповідний помножувач 1822, а вхідний інформаційний біт  $a_2$  подають у відповідний помножувач 1824. У той же самий момент часу генератор 1800 сигналів здійснює вивід у відповідні помножувачі трьох потоків символів, що утворюють собою матрицю, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої. Тобто, у генераторі 1800 сигналів запам'ятовують потік символів  $R1 = 100\ 101\ 0101\ 101\ 0101\ 101\ 0101$ , що має довжину 24 біта й відповідає першому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подають потік  $R1$  запам'ятованих символів в помножувач 1820. У генераторі 1800 сигналів запам'ятовують потік символів  $R2 = 010\ 011\ 0011\ 011\ 0011\ 011\ 0011$ , що має довжину 24 біта й відповідає другому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подають потік  $R2$  запам'ятованих символів в помножувач 1822. Крім того, у генераторі 1600 сигналів запам'ятовують потік символів  $R3 = 001\ 000\ 1111\ 000\ 1111\ 000\ 1111$ ,

що має довжину 24 біта й відповідає третьому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, а потік R3 запам'ятованих символів подають в помножувач 1824. Потім у помножувачі 1820 виконують<sup>56</sup> множення символів з потоку R1 символів на вхідний інформаційний біт a0 і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1840 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 1822 виконують множення символів з потоку R2 символів на вхідний інформаційний біт a1 і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1840 виконання операції " що виключає АБО". Крім того, у помножувачі 1824 виконують множення символів з потоку R3 символів на вхідний інформаційний біт a2 і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1640 виконання операції " що виключає АБО". Після цього засіб 1840 виконання операції " що виключає АБО" здійснює посимвольне виконання операції " що виключає АБО" над 3-м отриманими потоками символів, кожний з яких має довжину 24 біта, і вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта.

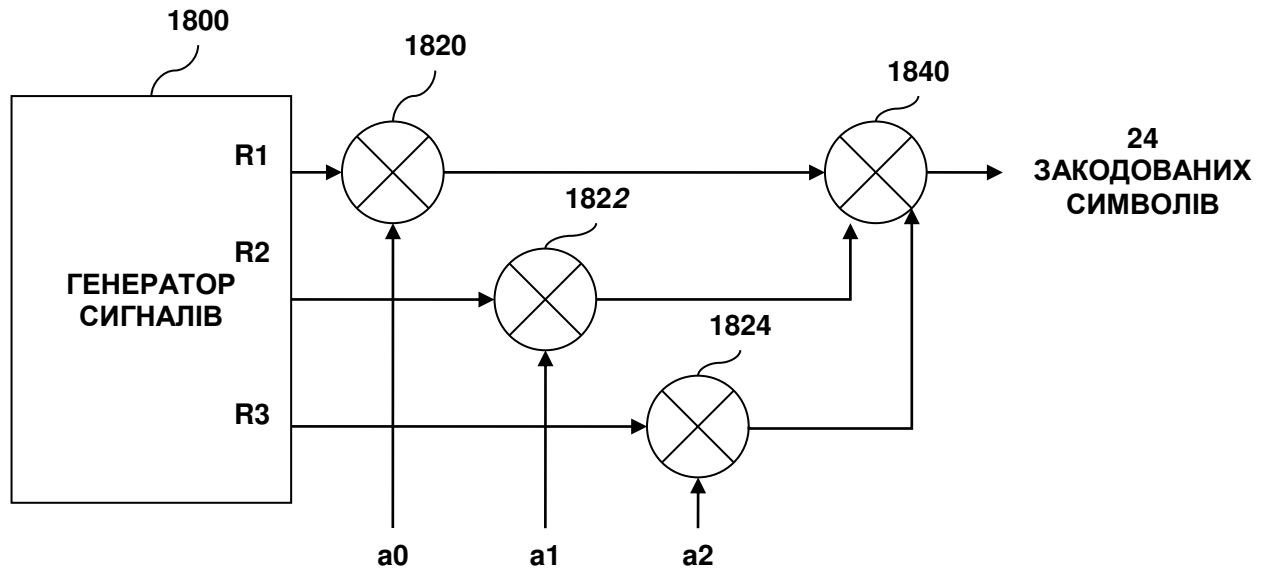


Рисунок 2.7 - Пристрій кодування типу (24,3)

#### 2.1.1.4 Пристрій кодування типу (24,4)

За допомогою запропонованого пристрою кодування типу (24,4) здійснюють генерацію оптимального коду типу (24,4) шляхом 4-кратні

повторення коду Ріда-Мюллера типу (16,4), після чого з повторюваного коду удал ют 8 окремих символів. Незважаючи на те що існує безліч способів створення коду типу (24,4), використання способу видалення окремих символів коду Ріда-Мюллера першого порядку відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу дозволяє не тільки звести до мінімуму складність апаратних засобів, але також створити таке кодове слово, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок. До того ж, існує можливість звести до мінімуму складність апаратних засобів шляхом мінімізації довжини коду Ріда-Мюллера перед видаленням його окремих символів. Припускають, що генерацію кодів з виправленням помилок у варіанті здійснення справжнього винаходу здійснюють із використанням коду Ріда-Мюллера.

Одержання послідовності закодованих символів довжиною 24 біта на виході пристрою кодування типу (24,4) здійснюють шляхом дворазового повторення 16-ти закодованих символів, отриманих з виходу генератора коду Ріда-Мюллера типу (16,4), і наступного видалення 8-мі окремих символів з повторюваних закодованих символів. Зміна місць розташування символів, що видаляються, при видаленні цих 8-мі окремих символів з послідовності повторюваних закодованих символів довжиною 32 біта приводить до зміни мінімальної відстані  $d_{min}$  кодового слова. Отже, для реалізації пристрою кодування типу (24,4), що володіє високою ефективністю виправлення помилок у послідовності закодованих символів довжиною 32 біта, важливо здійснити обчислення таких місць розташування символів, що видаляються, за допомогою яких може бути отримана найбільша мінімальна відстань.

Найбільш простою схемою видалення символів із цих 8-мі місць розташування символів, що видаляються, яку необхідно застосувати для здійснення генерації оптимального лінійного коду типу (24,4), є наступна: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16}. У цьому випадку передавач і приймач системи мобільного зв'язку, що роблять передачу 4-х інформаційних бітів за допомогою способу кодування/декодування зі справжнього винаходу, заздалегідь здійснюють обмін даними про місце розташування цих 8-мі символів, що видаляються, або

виконують їхнє попереднє запам'ятовування іншим способом. Місця розташування символів, що видаляються, звичайно вказують у протоколі зв'язку. В альтернативному варіанті інформація про місце розташування символів, що видаляються, може бути заздалегідь надана за допомогою передавача.

Нижче наведений опис способу кодування за допомогою оптимального коду типу (24,4) відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. У пристрій 200 кодування Ріда-Мюллера типу (16,4) подають 4 вхідних інформаційних біти  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  і  $a_3$ . Тут вхідні інформаційні біти  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  і  $a_3$  утворюють собою показник швидкості передачі. Пристрій 200 кодування Ріда-Мюллера здійснює кодування вхідних інформаційних бітів  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  і  $a_3$  і вивід послідовності закодованих символів довжиною 16 бітів (або потоку закодованих символів). Закодовані символи утворюють собою код Ріда-Мюллера. Ці 16 закодованих символів подають у повторювач 210. Повторювач 210 здійснюють вивід 32-х закодованих символів шляхом дворазового повторення отриманих послідовностей закодованих символів довжиною по 16 бітів. Після одержання 32-х закодованих символів пристрій 220 видалення окремих символів видаляє із цих 32-х закодованих символів 0-й, 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 6-й і 16-й символи, що перебувають в 8-мі оптимальних місцях розташування символів, що видаляються, і здійснюють вивід 24-х закодованих символів.

У загальній теорії кодування відображення взаємозв'язку між вхідною інформацією й закодованими символами здійснюють за допомогою матриці, що породжує. При наявності операцій повторення символів і видалення окремих символів матриця, що породжує, для кінцевого пристрою кодування типу (24,4) має такий вигляд:

$$M = \begin{bmatrix} 1010101011010101010101 \\ 100110011011001100110011 \\ 100001111000111100001111 \\ 011111111000000011111111 \end{bmatrix}$$

За допомогою матриці, що породжує, з рівняння 4 здійснюють вибір 24-х символів з першого рядка в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт з 4-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із другого рядка в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт з 4-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із третього рядка в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт з 4-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Крім того, за допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із четвертого рядка в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт з 4-х вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Генерацію потоку закодованих символів для вхідних інформаційних бітів здійснюють за допомогою операції " що виключає АБО", що виконують посимвольним способом для всіх обраних потоків.

На Рис 2.8 показаний пристрій кодування типу (24,4), засноване на вищевказаній матриці, що породжує. Із вхідних інформаційних бітів  $a_0$ - $a_3$ , що приймає значення 0 або 1, вхідний інформаційний біт  $a_0$  подають у відповідний помножувач 920, вхідний інформаційний біт  $a_1$  подають у відповідний помножувач 922, вхідний інформаційний біт  $a_2$  подають у відповідний помножувач 924, а вхідний інформаційний біт  $a_3$  подають у відповідний помножувач 926.

У той же самий момент часу генератор 900 сигналів здійснюють вивід 4-х потоків символів  $R_1$ - $R_4$ , що утворять собою матрицю, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, у відповідні помножувачі 920-

926. Зокрема, генератор 900 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R1=1010\ 1010\ 1101\ 0101\ 0101\ 0101$ , що має довжину 24 біта й відповідає першому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R1 символів в помножувач 920.

Генератор 900 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R2=1001\ 1001\ 1011\ 0011\ 0011\ 0011$ , що має довжину 24 біта й відповідає другому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R2 символів в помножувач 922.

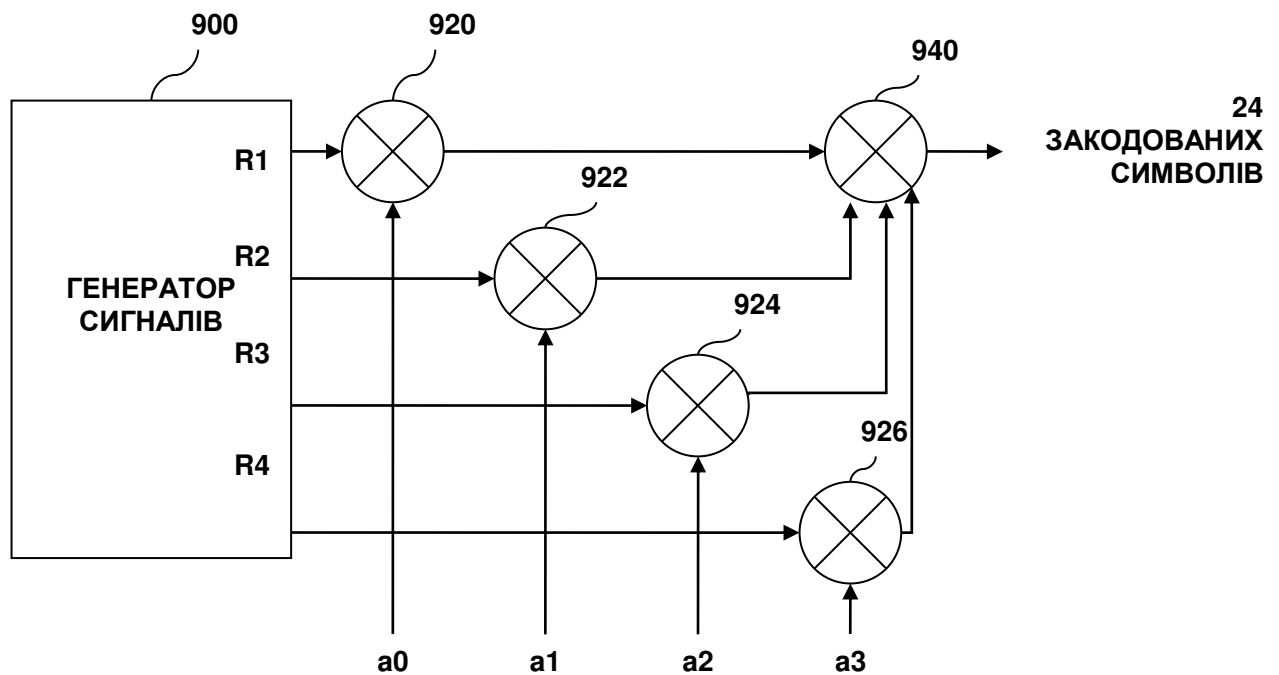


Рисунок 2.8 - Пристрій кодування типу (24,4)

Генератор 900 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R3=1000\ 0111\ 1000\ 1111\ 0000\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає третьому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R3 символів в помножувач 924. І, нарешті, генератор 900 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R4=0111\ 1111\ 1000\ 0000\ 1111\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає четвертому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R4 символів в помножувач 926. Потім у помножувачі 920 виконують множення символів з потоку R1 символів на вхідний інформаційний біт  $a0$  і

здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 940 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 922 виконують множення символів з потоку R2 символів на вхідний інформаційний біт a1 і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 940 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 924 виконують множення символів з потоку R3 символів на вхідний інформаційний біт a2 і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 940 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 926 виконують множення символів з потоку R4 символів на вхідний інформаційний біт a3 і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 940 виконання операції " що виключає АБО". Після цього засіб 940 виконання операції " що виключає АБО" здійснюють посимвольне виконання операції " що виключає АБО" над чотирма отриманими потоками символів, кожний з яких має довжину 24 біта, і вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта.

#### 2.1.1.5 Пристрій кодування типу (24,5)

За допомогою запропонованого пристрою кодування типу (24,5) здійснюють генерацію оптимального коду типу (24,5) шляхом видалення 8-мі окремих символів з коду Ріда-Мюллера першого порядку типу (32,5). Незважаючи на те що існує безліч способів створення коду типу (24,5), використання способу видалення окремих символів коду Ріда-Мюллера першого порядку відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу дозволяє не тільки звести до мінімуму складність апаратних засобів, але також створити таке кодове слово, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок. Припускають, що генерацію кодів з виправленням помилок у варіанті здійснення справжнього винаходу здійснюють із використанням коду Ріда-Мюллера. До того ж, існує можливість звести до мінімуму складність апаратних засобів шляхом мінімізації довжини коду Ріда-Мюллера перед видаленням його окремих символів.

Одержання послідовності закодованих символів довжиною 24 біта на виході пристрою кодування типу (24,5) здійснюють шляхом виводу 32-х



закодованих символів, створених за допомогою генератора коду Ріда-Мюллера типу (32,5), і наступного видалення 8-мі окремих символів з 32-х закодованих символів. Зміна місць розташування символів, що видаляються, при видаленні цих 8-мі окремих символів з послідовності закодованих символів довжиною 32 біта приводить до зміни мінімальної відстані  $d_{min}$  кодового слова. Отже, для реалізації пристрою кодування типу (24,5), що володіє високою ефективністю виправлення помилок у коді Ріда-Мюллера першого порядку типу (32,5), важливо здійснити обчислення таких місць розташування символів, що видаляються, за допомогою яких може бути отримана найбільша мінімальна відстань.

Найбільш простою схемою видалення символів із цих 8-мі місць розташування символів, що видаляються, яку необхідно застосувати для здійснення генерації оптимального лінійного коду типу (24,5), є наступна: (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). У цьому випадку передавач і приймач системи мобільного зв'язку, що роблять передачу 5-ти інформаційних бітів за допомогою способу кодування/декодування зі справжнього винаходу, заздалегідь здійснюють обмін даними про місце розташування цих 8-мі символів, що видаляються, або виконують їхнє попереднє запам'ятовування іншим способом. Місця розташування символів, що видаляються, звичайно вказують у протоколі зв'язку. В альтернативному варіанті інформація про місце розташування символів, що видаляються, може бути заздалегідь надана за допомогою передавача.

Нижче наведений опис способу кодування за допомогою оптимального коду типу (24,5) відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. На рис 2.9 показана структура пристрою кодування, що входить до складу передавача відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. У пристрій 1900 кодування Ріда-Мюллера типу (32,5) подають 5 вхідних інформаційних бітів  $a_0, a_1, a_2, a_3$  і  $a_4$ . Тут вхідні інформаційні біти  $a_0, a_1, a_2, a_3$  і  $a_4$  утворюють собою показник швидкості передачі. Пристрій 1900 кодування Ріда-Мюллера здійснюють кодування вхідних інформаційних бітів  $a_0, a_1, a_2, a_3$  і  $a_4$  і вивід послідовності закодованих символів довжиною 32 біта (або потоку

закодованих символів). Після одержання 32-х закодованих символів пристрій видаляє окремих символів видаляє із цих 32-х закодованих символів 0-й, 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 6-й і 7-й символи, що перебувають в 8-мі оптимальних місцях розташування символів, що видаляються, і здійснюють вивід 24-х закодованих символів.

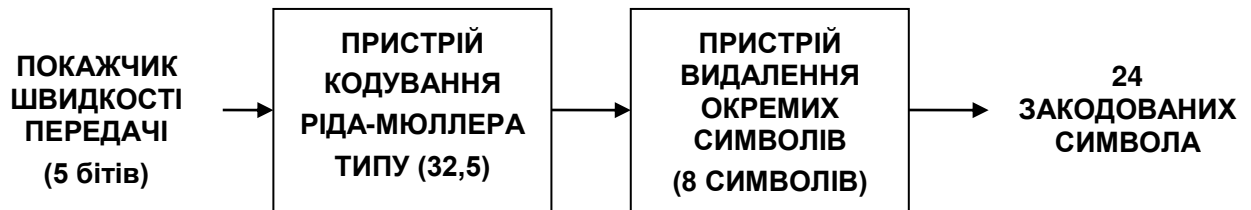


Рисунок 2.9 - Структура пристрою кодування типу (24,5)

У загальній теорії кодування відображення взаємозв'язку між вхідною інформацією й закодованими символами здійснюють за допомогою матриці, що породжує. При наявності операцій повторення символів і видалення окремих символів матриця, що породжує, для кінцевого пристрою кодування типу (24,5) має такий вигляд:

$$M = \begin{bmatrix} 010101010101010101010101 \\ 001100110011001100110011 \\ 000011110000111100001111 \\ 111111110000000011111111 \\ 000000001111111111111111 \end{bmatrix}$$

За допомогою матриці, що породжує, з рівняння 5 здійснюють вибір 24-х символів з першого рядка в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт з 5-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із другого рядка в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт з 5-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не

здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із третього рядка в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт з 5-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із четвертого рядка в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт з 5-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Крім того, за допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів з п'ятого рядка в тому випадку, якщо п'ятий вхідний інформаційний біт з 5-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо п'ятий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Генерацію потоку закодованих символів для вхідних інформаційних бітів здійснюють за допомогою операції "що виключає АБО", що виконують посимвольним способом для всіх обраних потоків.

На Рис 2.10 показаний пристрій кодування типу (24,5), засноване на вищевказаній матриці, що породжує. Із вхідних інформаційних бітів  $a_0$ - $a_4$ , що приймає значення 0 або 1, вхідний інформаційний біт  $a_0$  подають у відповідний помножувач 2020, вхідний інформаційний біт  $a_1$  подають у відповідний помножувач 2022, вхідний інформаційний біт  $a_2$  подають у відповідний помножувач 2024, вхідний інформаційний біт  $a_3$  подають у відповідний помножувач 2026, а вхідний інформаційний біт  $a_4$  подають у відповідний помножувач 2028. У той же самий момент часу генератор 2000 сигналів здійснюють вивід 5-ти потоків символів  $R_1$ - $R_5$ , що утворюють собою матрицю, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, у відповідні помножувачі 2020-2028.

Зокрема, генератор 2000 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R_1=0101\ 0101\ 0101\ 0101\ 0101\ 0101$ , що має довжину 24 біта й

відповідає першому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R1 символів в помножувач 2020. Генератор 2000 сигналів здійснюють зчитування потоку символів R2=0011 0011 0011 0011 0011 0011, що має довжину 24 біта й відповідає другому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R2 символів в помножувач 2022. Генератор 2000 сигналів здійснюють зчитування потоку символів R3=0000 1111 0000 1111 0000 1111, що має довжину 24 біта й відповідає третьому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R3 символів в помножувач 2024.

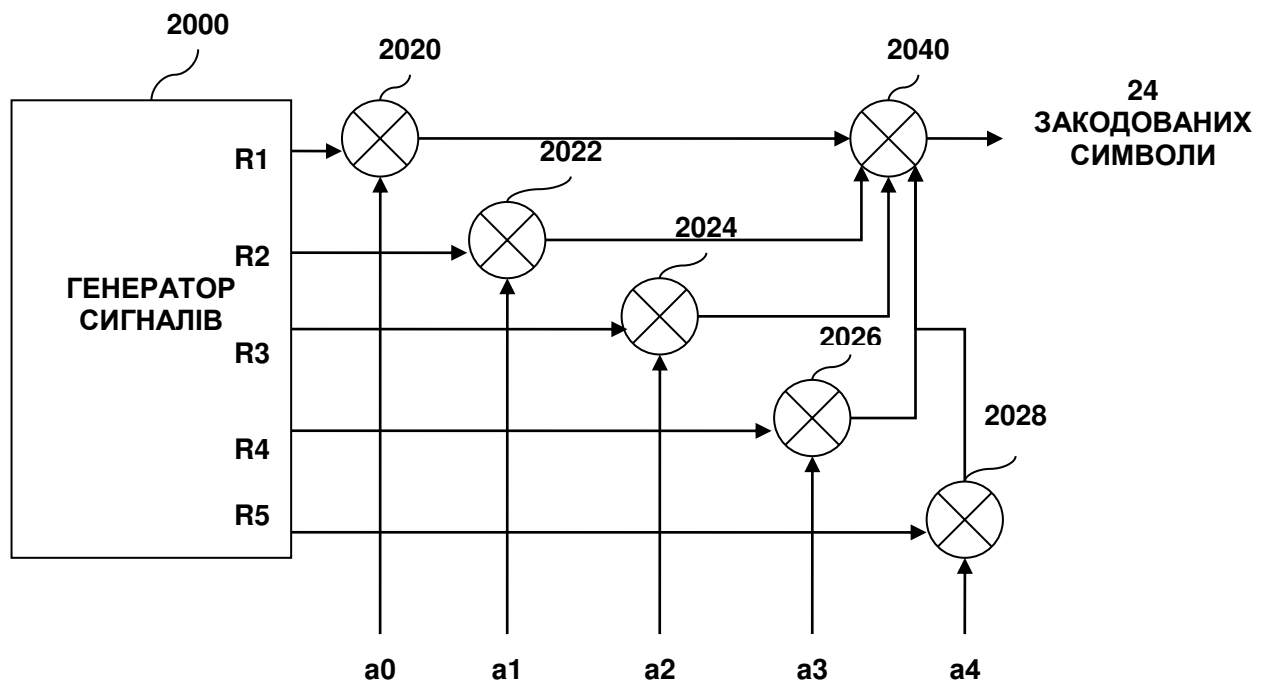


Рисунок 2.10 - Пристрій кодування типу (24,5)

Генератор 2000 сигналів здійснюють зчитування потоку символів R4=1111 1111 0000 0000 1111 1111, що має довжину 24 біта й відповідає четвертому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R4 символів в помножувач

2026. І, нарешті, генератор 2000 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R5=0000\ 0000\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає п'ятому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R5$  символів в помножувач 2028. Потім у помножувачі 2020 виконують множення символів з потоку  $R1$  символів на вхідний інформаційний біт  $a0$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2040 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 2022 виконують множення символів з потоку  $R2$  символів на вхідний інформаційний біт  $a1$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2040 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 2024 виконують множення символів з потоку  $R3$  символів на вхідний інформаційний біт  $a2$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2040 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 2026 виконують множення символів з потоку  $R4$  символів на вхідний інформаційний біт  $a3$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2040 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 2028 виконують множення символів з потоку  $R5$  символів на вхідний інформаційний біт  $a4$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2040 виконання операції " що виключає АБО". Після цього засіб 2040 виконання операції " що виключає АБО" здійснюють посимвольне виконання операції " що виключає АБО" над п'ятьма отриманими потоками символів, кожний з яких має довжину 24 біта, і вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта.

#### 2.1.1.6 Пристрій кодування типу (24,6)

За допомогою запропонованого пристрою кодування типу (24,6) здійснюють генерацію оптимального коду типу (24,6) за допомогою видалення 8-мі окремих символів з розширеного ортогонального коду, отриманого шляхом розширення кодового слова з використанням однієї функції маски для ортогонального коду типу (32,5) (або коду Ріда-Мюллера першого порядку).

На Рис 2.11 показана структура розширеного ортогонального коду. У тому випадку, коли використовуваною функцією маски є  $M1$ , у якості верхніх 32-х кодових слів використовують 32 ортогональні кодові слова  $W$  довжиною по 32 біта, а в якості наступних 32-х кодових слів використовують 32 кодові слова  $(M1+W)$ , отриманих за допомогою виконання операції "що виключає АБО" над функцією маски  $M1$  і 32-м ортогональними кодовими словами  $W$ . Отже, у якості розширених ортогональних кодів використовують усього  $2^6=64$  кодові слова. Функцію маски, що забезпечує оптимізацію коду типу (24,6), визначають експериментально. Функція маски  $M1$  може мати, наприклад, що впливає вид:

$$M1=0000\ 0000\ 1110\ 1000\ 1101\ 1000\ 1100\ 0000.$$

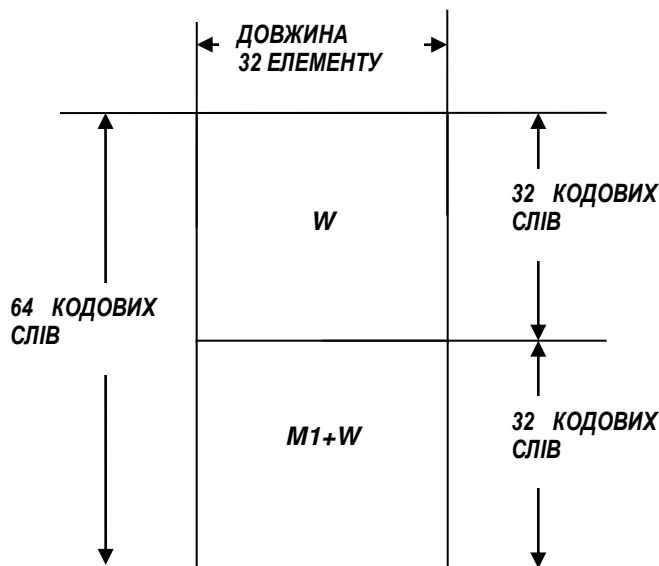


Рисунок 2.11 - Структура розширеного ортогонального коду

Незважаючи на те, що існує безліч способів створення коду типу (24,6), використання способу видалення окремих символів з розширеного коду Ріда-Мюллера першого порядку відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу дозволяє не тільки звести до мінімуму складність апаратних засобів, але також створити таке кодове слово, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок, що дозволяє здійснювати декодування за

допомогою швидкого зворотного перетворення Адамара. Генерацію коду з виправленням помилок у варіанті здійснення справжнього винаходу виконують із використанням розширеного ортогонального коду. Крім того, існує можливість звести до мінімуму складність апаратних засобів шляхом мінімізації довжини ортогонального коду перед видаленням його окремих символів.

Генерацію кодового слова типу (24,6) здійснюють шляхом видалення 8-мі окремих символів з 32-х закодованих символів, одержуваних на виході генератора розширеного коду типу (32,6). При цьому зміна місць розташування символів, що видаляються, при видаленні цих 8-мі окремих символів з розширеної послідовності, що складає з 32-х закодованих символів, приводить до зміни мінімальної відстані  $d_{\min}$  кодового слова. Отже, для реалізації пристрою кодування типу (24,6), що володіє високою ефективністю виправлення помилок у розширеному ортогональному коді типу (32,6), важливо здійснити обчислення таких місць розташування символів, що видаляються, за допомогою яких може бути отримана найбільша мінімальна відстань.

Місця розташування 8-мі символів, що видаляються, необхідних для здійснення генерації оптимального лінійного коду типу (24,6), обчислюють експериментально. Найбільш простою схемою видалення символів є наступна: (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). У цьому випадку передавач і приймач системи мобільного зв'язку, що роблять передачу 6-ти інформаційних бітів за допомогою способу кодування/декодування зі справжнього винаходу, заздалегідь здійснюють обмін даними про місце розташування цих 8-мі символів, що видаляються, або виконують їхнє попереднє запам'ятовування іншим способом. Місця розташування символів, що видаляються, звичайно вказують у протоколі зв'язку. В альтернативному варіанті інформація про місце розташування символів, що видаляються, може бути заздалегідь надана за допомогою передавача.

На Рис 2.12 показана структура пристрою оптимального кодування типу (24,6), що входить до складу передавача відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. У пристрій 2100 розширеного ортогонального

кодування типу (32,6) подають 6 вхідних інформаційних бітів  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  і  $a_5$ . Тут вхідні інформаційні біти  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  і  $a_5$  утворюють собою показник швидкості передачі. Пристрій 2100 розширеного ортогонального кодування здійснюють кодування шести вхідних інформаційних бітів  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  і  $a_5$  і вивід послідовності закодованих символів довжиною 32 біта (або потоку закодованих символів). 32 закодованих символу, отриманих на виході пристрою 2100 розширеного ортогонального кодування, подають у пристрій 2110 видалення окремих символів. Пристрій 2110 видалення окремих символів видаляє із цих 32-х закодованих символів 0-й, 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 6-й і 7-й символи, що перебувають в 8-мі оптимальних місцях розташування символів, що видаляються, і здійснюють вивід 24-х закодованих символів.

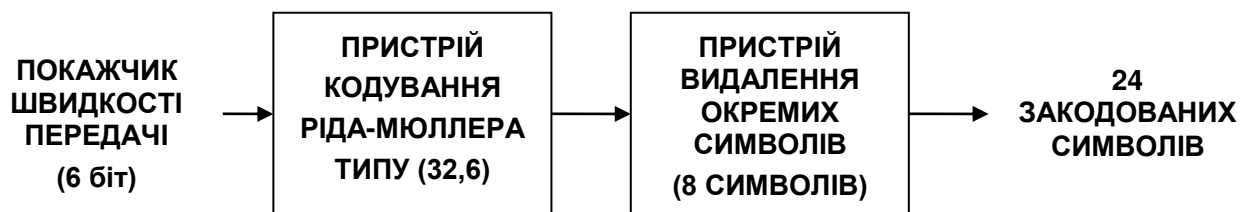


Рисунок 2.12 - Структура пристрою оптимального кодування типу (24,6)

У загальній теорії кодування відображення взаємозв'язку між вхідною інформацією й закодованими символами здійснюють за допомогою матриці, що породжує. При наявності операцій повторення символів і видалення окремих символів матриця, що породжує, для кінцевого пристрою кодування типу (24,6) має такий вигляд:

$$M = \begin{bmatrix} 010101010101010101010101 \\ 001100110011001100110011 \\ 000011110000111100001111 \\ 111111110000000011111111 \\ 000000001111111111111111 \\ 111010001101100011000000 \end{bmatrix}$$



За допомогою матриці, що породжує, з рівняння 6 здійснюють вибір 24-х символів з першого рядка в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт з 6-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із другого рядка в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт з 6-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із третього рядка в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт з 6-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із четвертого рядка в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт з 6-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів з п'ятого рядка в тому випадку, якщо п'ятий вхідний інформаційний біт з 6-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо п'ятий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. І, нарешті, за допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із шостого рядка в тому випадку, якщо шостий вхідний інформаційний біт з 6-ти вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо шостий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Генерацію потоку закодованих символів для вхідних інформаційних бітів здійснюють за допомогою операції " що виключає АБО", що виконують посимвольним способом для всіх обраних потоків.

На Рис 2.13 показаний пристрій кодування типу (24,6), засноване на вищевказаній матриці, що породжує. Із вхідних інформаційних бітів  $a_0$ - $a_5$ , що

приймає значення 0 або 1, вхідний інформаційний біт  $a_0$  подають у відповідний помножувач 2220, вхідний інформаційний біт  $a_1$  подають у відповідний помножувач 2222, вхідний інформаційний біт  $a_2$  подають у відповідний помножувач 2224, вхідний інформаційний біт  $a_3$  подають у відповідний помножувач 2226, вхідний інформаційний біт  $a_4$  подають у відповідний помножувач 2228, а вхідний інформаційний біт  $a_5$  подають у відповідний помножувач 2230.

У той же самий момент часу генератор 2200 сигналів здійснюють вивід 6-ти потоків символів  $R_1$ - $R_6$ , що утворять собою матрицю, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, у відповідні помножувачі 2220-2230. Зокрема, генератор 2200 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R_1=0101\ 0101\ 0101\ 0101\ 0101\ 0101$ , що має довжину 24 біта й відповідає першому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R_1$  символів в помножувач 2220.

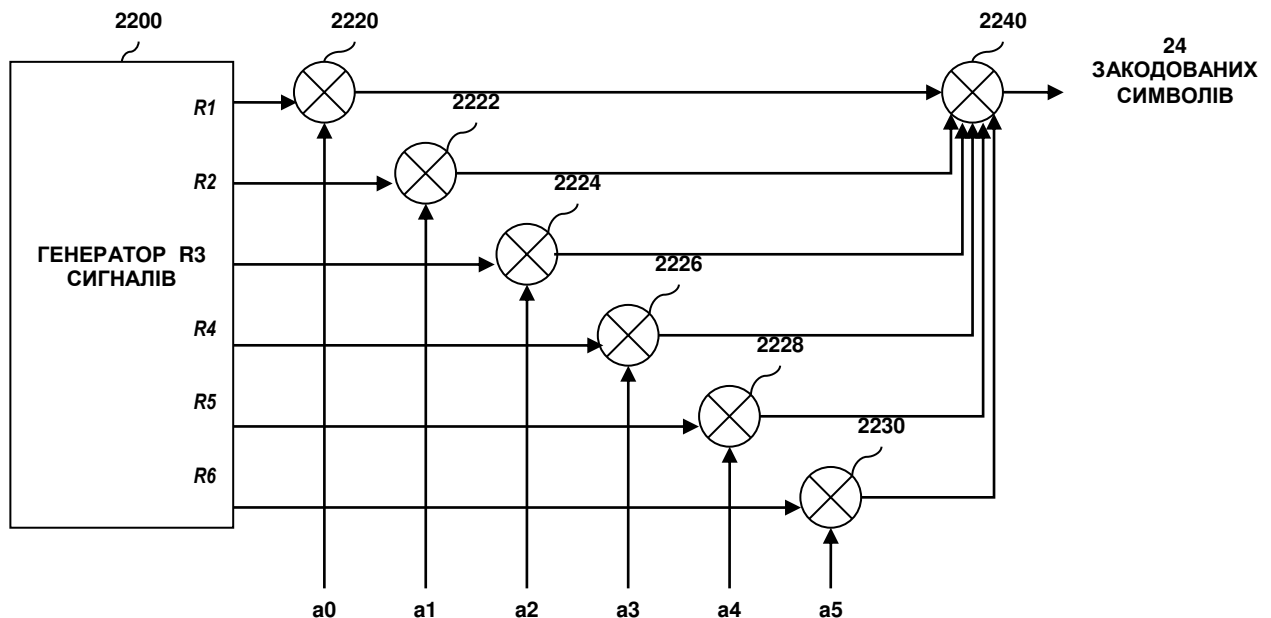


Рисунок 2.13 - Пристрій кодування типу (24,6)

Генератор 2200 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R2=0011\ 0011\ 0011\ 0011\ 0011\ 0011$ , що має довжину 24 біта й відповідає другому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R2$  символів в помножувач 2222. Генератор 2200 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R=0000\ 1111\ 0000\ 1111\ 0000\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає третьому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R3$  символів в помножувач 2224. Генератор 2200 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R4=1111\ 1111\ 0000\ 0000\ 1111\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає четвертому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R4$  символів в помножувач 2226. Генератор 2200 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R5=0000\ 0000\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає п'ятому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R5$  символів в помножувач 2228. Генератор 2200 сигналів здійснюють зчитування потоку символів  $R6=1110\ 1000\ 1101\ 1000\ 1100\ 0000$ , що має довжину 24 біта й відповідає шостому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R6$  символів в помножувач 2230. Потім у помножувачі 2220 виконують множення символів з отриманого потоку  $R1$  символів на вхідний інформаційний біт  $a0$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2240 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 2222 виконують множення символів з отриманого потоку  $R2$  символів на вхідний інформаційний біт  $a1$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2240 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 2224 виконують множення символів з отриманого потоку  $R3$  символів на вхідний інформаційний біт  $a2$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2240 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 2226 виконують множення символів з отриманого потоку  $R4$  символів на вхідний інформаційний

біт  $a_3$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2240 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 2228 виконують множення символів з отриманого потоку  $R_5$  символів на вхідний інформаційний біт  $a_4$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2240 виконання операції " що виключає АБО". У помножувачі 2230 виконують множення символів з отриманого потоку  $R_6$  символів на вхідний інформаційний біт  $a_5$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 2240 виконання операції " що виключає АБО". Після цього засіб 2240 виконання операції " що виключає АБО" здійснюють посимвольне виконання операції " що виключає АБО" над цими шістьма потоками символів, кожний з яких має довжину 24 біта, і вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта.

#### 2.1.1.7 Пристрій кодування типу (24,7)

За допомогою запропонованого пристрою кодування типу (24,7) здійснюють генерацію оптимального коду типу (24,7) за допомогою видалення 8-мі окремих символів з розширеного ортогонального коду, отриманого шляхом розширення кодового слова з використанням двох функцій маски для ортогонального коду типу (32,5) (або коду Ріда-Мюллера першого порядку).

На Рис 2.14 показана структура розширеного ортогонального коду, у тому випадку, коли двом використовуваними функціями маски є  $M_1$  і  $M_2$ , у якості верхніх 32-х кодових слів використовують 32 ортогональні кодові слова  $W$  довжиною по 32 біта, а в якості наступних 32-х кодових слів використовують 32 кодові слова  $(M_1+W)$ , отриманих шляхом виконання операції "що виключає АБО" над функцією маски  $M_1$  і 32-м ортогональними кодовими словами  $W$ . У якості подальших 32-х кодових слів використовують 32 кодові слова  $(M_2+W)$ , отриманих шляхом виконання операції " що виключає АБО" над функцією маски  $M_2$  і 32-м ортогональними кодовими словами  $W$ , а в якості останніх 32-х кодових слів використовують 32 кодові слова  $(M_1+M_2+W)$ , отриманих шляхом виконання операції " що виключає АБО" над функцією маски  $M_1$  і  $M_2$  і 32-м

ортогональними кодовими словами  $W$ . Отже, у якості розширених ортогональних кодів використовують усього  $2^7=128$  кодові слова. Ці дві функції маски, що забезпечують оптимізацію коду типу  $(24,7)$ , визначають експериментально. Функції маски  $M1$  і  $M2$  можуть мати, наприклад, що впливає вид:

$M1=0000\ 0000\ 1110\ 1000\ 1101\ 1000\ 1100\ 0000,$

$M2=0000\ 0000\ 1100\ 0000\ 0111\ 1110\ 0010\ 1000.$

Незважаючи на те, що існує безліч способів створення коду типу  $(24,7)$ , використання способу видалення окремих символів з розширеного коду Ріда-Мюллера першого порядку відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу дозволяє не тільки звести до мінімуму складність апаратних засобів, але також створити таке кодове слово, що є оптимальним з погляду ефективності виправлення помилок, що дозволяє здійснювати декодування за допомогою швидкого зворотного перетворення Адамара. Крім того, існує можливість звести до мінімуму складність апаратних засобів шляхом мінімізації довжини ортогонального коду перед видаленням його окремих символів. Припускають, що генерацію коду з виправленням помилок у варіанті здійснення справжнього винаходу виконують із використанням розширеного ортогонального коду.

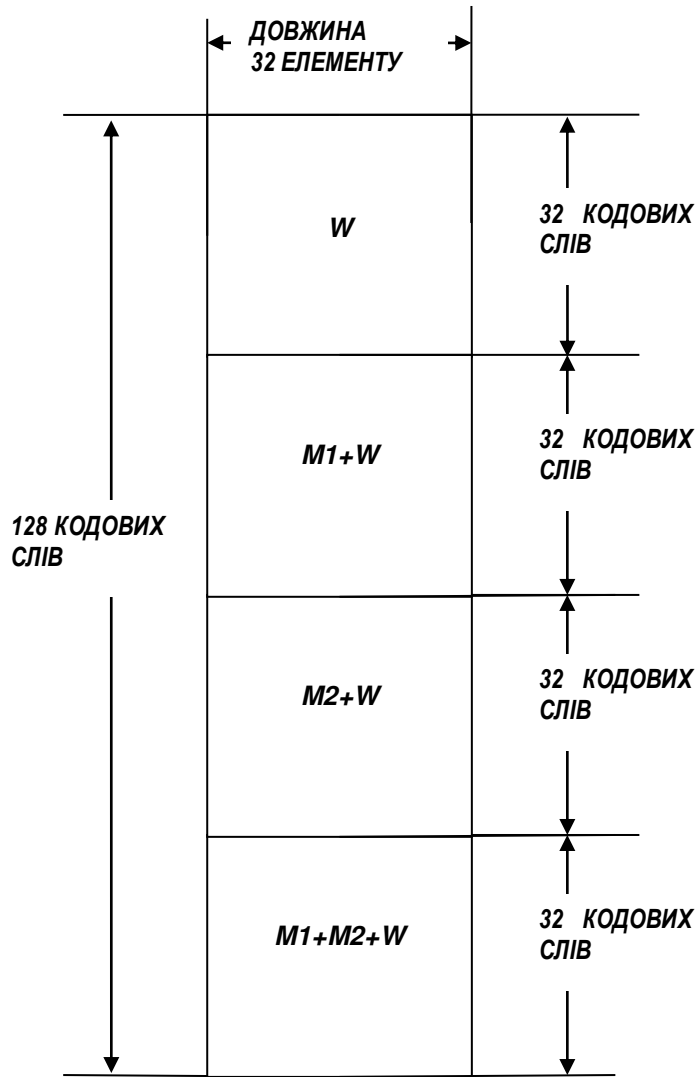


Рисунок 2.14 - Структура розширеного ортогонального коду

Генерацію кодового слова типу  $(24,7)$  здійснюють шляхом видалення 8-мі окремих символів з 32-х закодованих символів, одержуваних на виході генератора розширеного коду типу  $(32,7)$ . При цьому зміна місць розташування символів, що видаляються, при видаленні цих 8-мі окремих символів з розширеної послідовності, що складає з 32-х закодованих символів, приводить до зміни мінімальної відстані  $d_{\min}$  кодового слова. Отже, для реалізації пристрою кодування типу  $(24,7)$ , що володіє високою ефективністю виправлення помилок у розширеному ортогональному коді типу  $(32,7)$ , важливо здійснити обчислення таких місць розташування символів, що видаляються, за допомогою яких може бути отримана найбільша мінімальна відстань.

Місця розташування 8-мі символів, що видаляються, необхідних для здійснення генерації оптимального лінійного коду типу (24,7), можуть бути обчислені експериментально. Найбільш простими схемами видалення символів є наступні: {0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28} або {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}. У цьому випадку передавач і приймач системи мобільного зв'язку, що роблять передачу 7-мі інформаційних бітів за допомогою способу кодування/декодування зі справжнього винаходу, заздалегідь здійснюють обмін даними про місце розташування цих 8-мі символів, що видаляються, або виконують їхнє попереднє запам'ятовування іншим способом. Місця розташування символів, що видаляються, звичайно вказують у протоколі зв'язку. В альтернативному варіанті інформація про місце розташування символів, що видаляються, може бути заздалегідь надана за допомогою передавача.

На Рис 2.15 показана структура пристрою оптимального кодування типу (24,7), що входить до складу передавача відповідно до варіанта здійснення справжнього винаходу. У пристрій 400 розширеного ортогонального кодування типу (32,7) подають 7 вхідних інформаційних бітів  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  і  $a_6$ . Тут вхідні інформаційні біти  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  і  $a_6$  утворюють собою показник швидкості передачі. Пристрій 400 розширеного ортогонального кодування здійснюють кодування семи вхідних інформаційних бітів  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  і  $a_6$  і вивід послідовності закодованих символів довжиною 32 біта (або потоку закодованих символів). 32 закодованих символу, отримані на виході пристрої 400 розширеного ортогонального кодування, подають у пристрій 410 видалення окремих символів. Пристрій 410 видалення окремих символів видаляє із цих 32-х закодованих символів 0-й, 4-й, 8-й, 12-й, 16-й, 20-й, 24-й і 28-й символи або 0-й, 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 6-й і 7-й символи, що перебувають в 8-мі оптимальних місцях розташування символів, і виконують вивід 24-х закодованих символів.

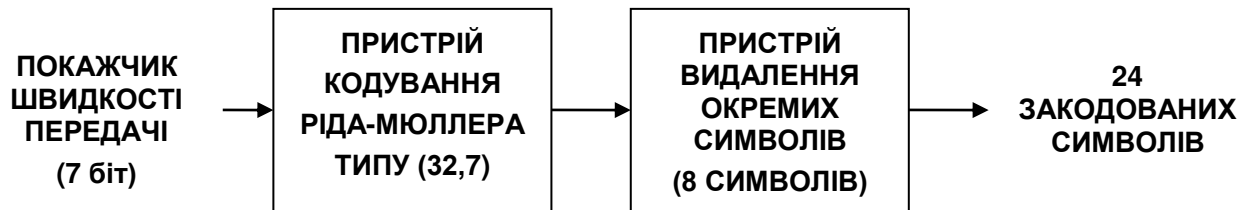


Рисунок 2.15 - Структура пристрою оптимального кодування типу (24,7)

У загальній теорії кодування відображення взаємозв'язку між вхідною інформацією й закодованими символами здійснюють за допомогою матриці, що породжує. При наявності операцій повторення символів і видалення окремих символів матриця, що породжує, для кінцевого пристрою кодування типу (24,7) має такий вигляд:

$$M = \begin{bmatrix} 0101010101010101010101 \\ 001100110011001100110011 \\ 000011110000111100001111 \\ 111111110000000011111111 \\ 000000001111111111111111 \\ 111010001101100011000000 \\ 110000000111111000101000 \end{bmatrix}$$

За допомогою матриці, що породжує, з рівняння 7 здійснюють вибір 24-х символів з першого рядка в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт з 7-мі вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо перший вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із другого рядка в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт з 7-мі вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо другий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із третього рядка в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт з 7-мі вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не



здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо третій вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із четвертого рядка в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт з 7-мі вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо четвертий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів з п'ятого рядка в тому випадку, якщо п'ятий вхідний інформаційний біт з 7-мі вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо п'ятий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. За допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із шостого рядка в тому випадку, якщо шостий вхідний інформаційний біт з 7-мі вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо шостий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. І, нарешті, за допомогою цієї матриці, що породжує, здійснюють вибір 24-х символів із сьомого рядка в тому випадку, якщо сьомий вхідний інформаційний біт з 7-мі вхідних інформаційних бітів дорівнює 1, і не здійснюють вибір жодного символу в тому випадку, якщо сьомий вхідний інформаційний біт дорівнює 0. Генерацію потоку закодованих символів для вхідних інформаційних бітів здійснюють за допомогою операції "що виключає АБО", що виконують посимвольним способом для всіх обраних потоків.

На рис. 2.16 показаний пристрій кодування типу (24,7), засноване на вищевказаній матриці, що породжує. Із вхідних інформаційних бітів  $a_0$ - $a_6$  приймаючи значення 0 або 1 вхідний інформаційний біт  $a_0$  подають у відповідний помножувач 1020, вхідний інформаційний біт  $a_1$  подають у відповідний помножувач 1022, вхідний інформаційний біт  $a_2$  подають у відповідний помножувач 1024, вхідний інформаційний біт  $a_3$  подають у відповідний помножувач 1026, вхідний інформаційний біт  $a_4$  подають у відповідний помножувач 1028, вхідний інформаційний біт  $a_5$  подають у відповідний помножувач 1030, вхідний інформаційний біт  $a_6$  подають у

відповідний помножувач 1032. У той же самий момент часу генератор 1000 сигналів здійснює вивід 7-мі потоків символів R1-R7, що утворюють собою матрицю, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, у відповідні помножувачі 1020-1032.

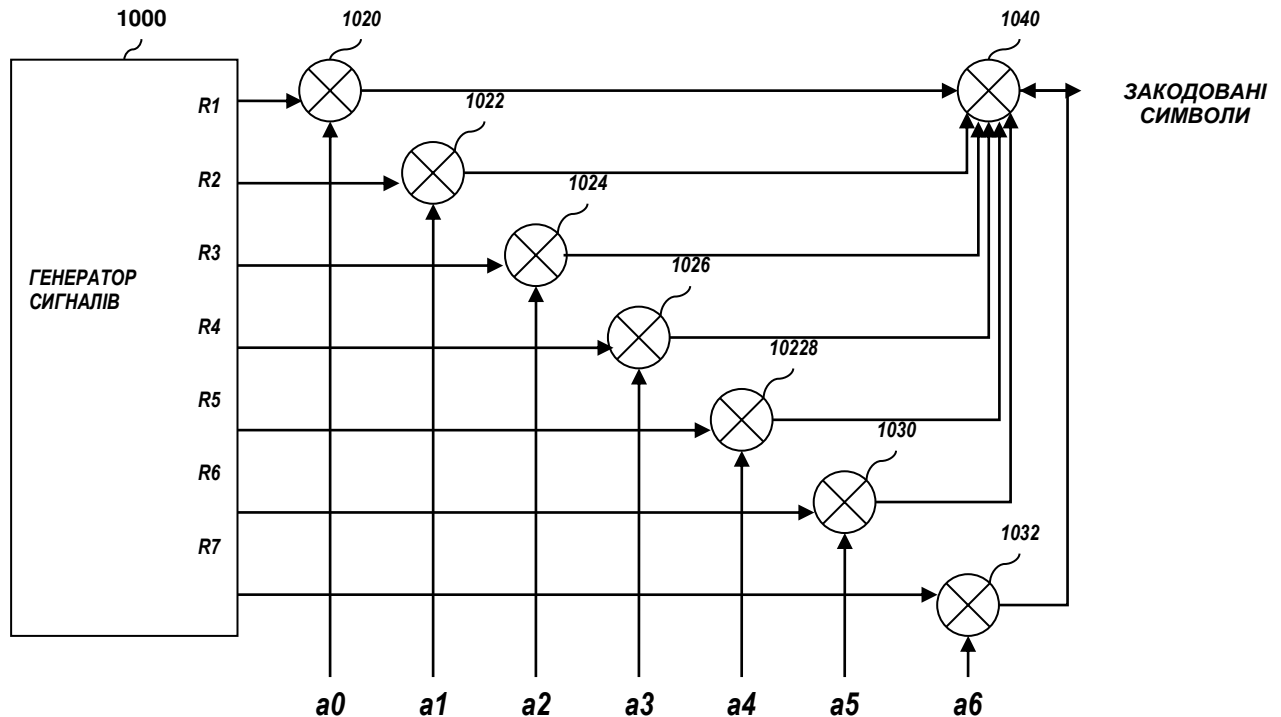


Рисунок 2.16 - Пристрій кодування типу (24,7)

Зокрема, генератор 1000 сигналів здійснює зчитування потоку символів  $R1=0101\ 0101\ 0101\ 0101\ 0101\ 0101$ , що має довжину 24 біта й відповідає першому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R1 символів в помножувач 1020. Генератор 1000 сигналів здійснює зчитування потоку символів  $R2=0011\ 0011\ 0011\ 0011\ 0011\ 0011$ , що має довжину 24 біта й відповідає другому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R2 символів в помножувач 1022. Генератор 1000 сигналів здійснює зчитування потоку символів  $R3=0000\ 1111\ 0000\ 1111\ 0000\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає третьому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік R3 символів

в помножувач 1024. Генератор 1000 сигналів здійснює зчитування потоку символів  $R4=1111\ 1111\ 0000\ 0000\ 1111\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає четвертому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R4$  символів в помножувач 1026. Генератор 1000 сигналів здійснює зчитування потоку символів  $R5=0000\ 0000\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111$ , що має довжину 24 біта й відповідає п'ятому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R5$  символів в помножувач 1028. Генератор 1000 сигналів здійснює зчитування потоку символів  $R6=1110\ 1000\ 1101\ 1000\ 1100\ 0000$ , що має довжину 24 біта й відповідає шостому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R6$  символів в помножувач 1030. І, нарешті, генератор 1000 сигналів здійснює зчитування потоку символів  $R7=1100\ 0000\ 0111\ 1110\ 0010\ 1000$ , що має довжину 24 біта й відповідає сьомому рядку матриці, що породжує, що зберігається в запам'ятовувальному пристрої, і подає лічений потік  $R7$  символів в помножувач 1032. Потім у помножувачі 1020 виконують множення символів з потоку  $R1$  символів на вхідний інформаційний біт  $a0$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1040 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 1022 виконують множення символів з потоку  $R2$  символів на вхідний інформаційний біт  $a1$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1040 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 1024 виконують множення символів з потоку  $R3$  символів на вхідний інформаційний біт  $a2$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1040 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 1026 виконують множення символів з потоку  $R4$  символів на вхідний інформаційний біт  $a3$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1040 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 1028 виконують множення символів з потоку  $R5$  символів на вхідний інформаційний біт  $a4$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1040 виконання операції "що

виключає АБО". У помножувачі 1030 виконують множення символів з отриманого потоку R6 символів на вхідний інформаційний біт  $a_5$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1040 виконання операції "що виключає АБО". У помножувачі 1032 виконують множення символів з отриманого потоку R7 символів на вхідний інформаційний біт  $a_6$  і здійснюють вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта в засіб 1040 виконання операції "що виключає АБО". Після цього засіб 1040 виконання операції "що виключає АБО" здійснює посимвольне виконання операції "що виключає АБО" над цими сьома потоками символів, кожний з яких має довжину 24 біта, і вивід потоку закодованих символів довжиною 24 біта.

## 2.2 Розробка способу декодування, що використовує швидке зворотне перетворення Адамара

Перетворення Адамара або перетворення Уолша-Адамара, - це по суті, те ж перетворення Уолша, але з іншим порядком функцій Уолша й, отже, рядків матриці перетворення.

Функції Уолша задаються цілочисельним номером  $n$  або  $p$  і аргументом  $\theta$ , який безупинно змінювався в інтервалі  $[0,1)$ . Тому що функції Уолша кусочно-постійні на двійкових ділянках  $\left[\frac{k}{N}, \frac{k+1}{N}\right)$ ;  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ;  $N = 2^v$ , те для аргументу  $\theta$  досить указати приналежність до певної ділянки, тобто можна розглядати функції Уолша як функції дискретного аргументу  $wal(n, k)$  або  $pal(p, k)$ . При такому поданні першим  $N = 2^v$  функціям Уолша може бути зіставлена квадратна матриця  $w_N$ . Елементами  $i$ -й рядка цієї матриці є значення  $i$ -й функції Уолша (у нумерації Уолша або Пэли) на двійкових ділянках. Приклад таких матриць у випадку  $N = 8$  наведений на Рис 2.17.

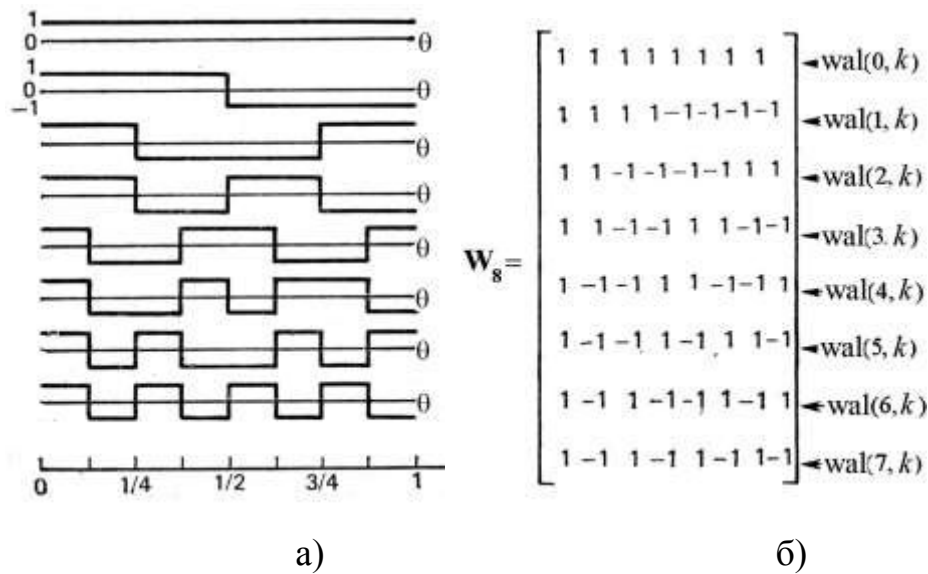


Рисунок 2.17 - Функції Уолша, упорядковані по Уолшу, при  $N = 8$ :

а – безперервні; б – дискретні

Матриці  $w_N$  ортогональні, тобто

$$W_N \cdot W_N^T = N I,$$

де  $I$  – одинична матриця, а верхній індекс  $T$  означає транспонування. Елементи рядків рівні  $\pm 1$ , крім того, матриці  $w_N$  симетричні.

Розглянемо тепер ще одну систему функцій Уолша – систему Уолша-Адамара. У цій системі функції Уолша розташовані одна під іншою в такому порядку, що з них утвориться матриця Адамара. Для матриць Адамара порядку  $N = 2^v$  існує метод ітеративної побудови на базі елементарної матриці порядку 2

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} ; \quad H_{2L} = \begin{bmatrix} H_L & H_L \\ H_L & -H_L \end{bmatrix}.$$

Рядки матриці Адамара представляють значення функцій Уолша, розташованих у порядку Адамара (Рис 2.18).

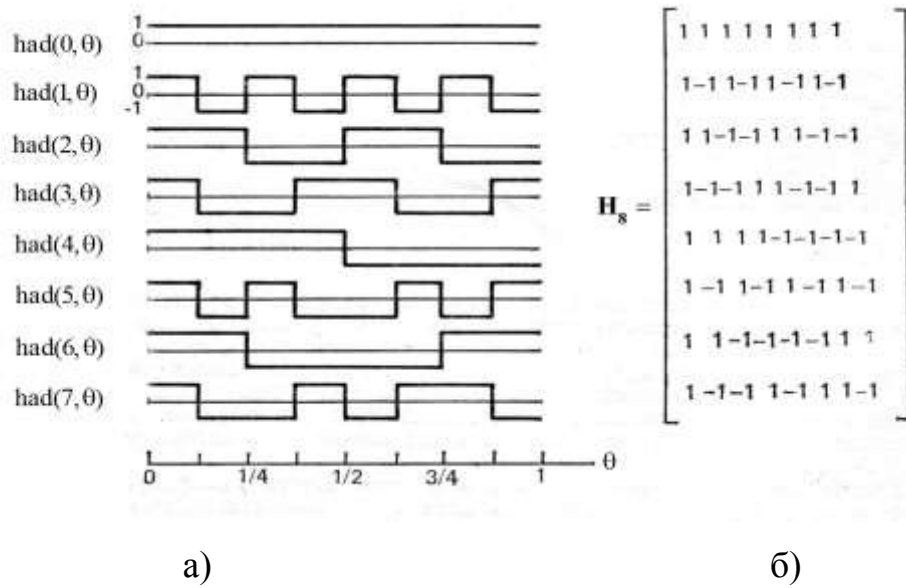


Рисунок 2.18 - Функції Уолша, упорядковані по Адамару, для  $N = 8$ :

а – безперервні; б – дискретні

Функції Уолша-Адамара  $\text{had}(h, k)$  визначаються в такий спосіб

$$\text{had}(h, k) = (-1)^\lambda,$$

$$\lambda = \sum_{i=0}^{v-1} h_i k_i.$$

Тут  $h_i$  і  $k_i$  – коефіцієнти двійкового подання чисел  $h$  і  $k$ .

Функції  $\text{had}(h, k)$  ортогональні

$$\sum_{k=0}^{N-1} \text{had}(h, k) \text{had}(g, k) = \begin{cases} N, & \text{при } h = g, \\ 0, & \text{при } h \neq g, \end{cases}$$

симетричні

$$\text{had}(h, k) = \text{had}(k, h)$$

N-Періодичні по обох змінним

$$\text{had}(h, k) = \text{had}(h \pm N, k) = \text{had}(h, k \pm N).$$

### 2.3 Розробка структурної схеми пристрою кодування/декодування системи мобільного зв'язку множинного доступу

Докладніше розглянемо структурну схему пристрою кодування/декодування речової системи. У прямому й зворотному каналі ця схема повторюється; залежно від того, який канал використовується в цей момент, деякі блоки цієї схеми виключаються.

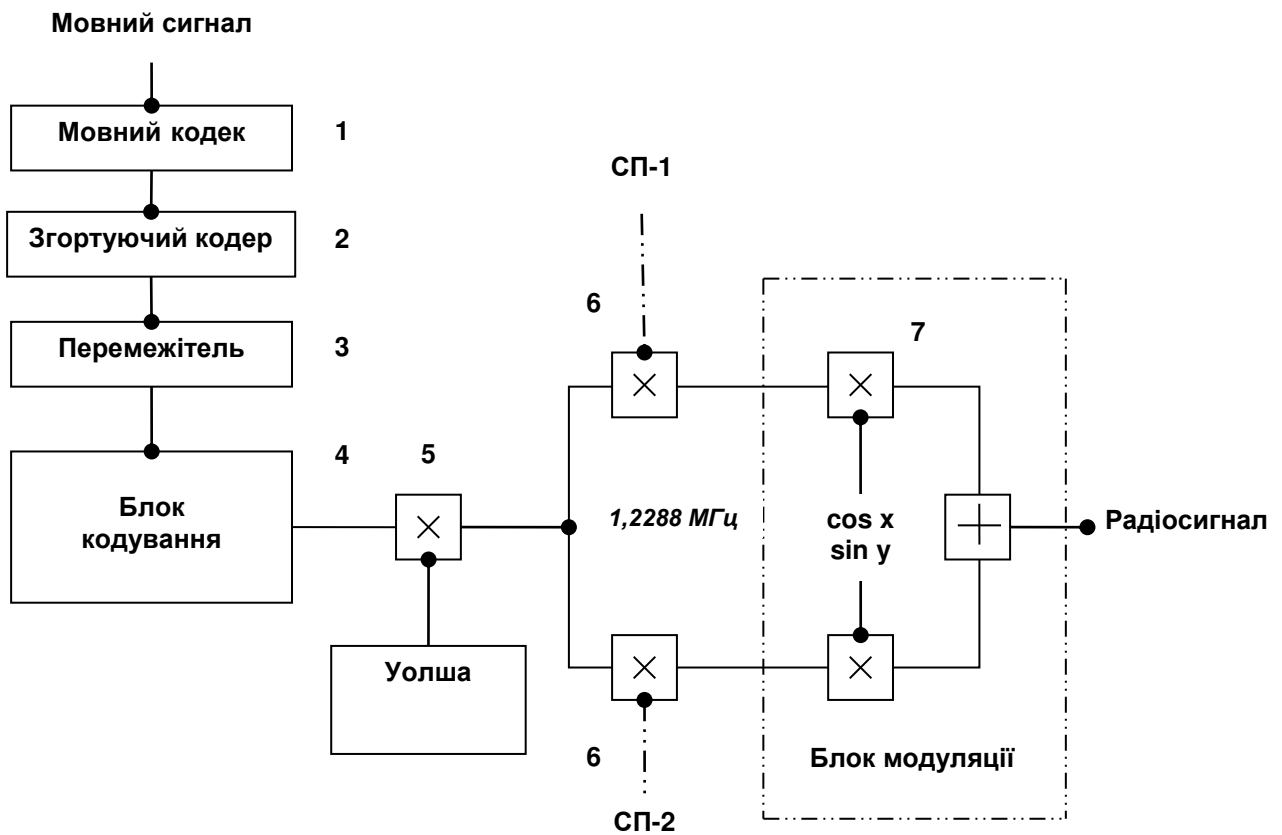


Рисунок 2.19 – Структурна схема пристрою кодування/декодування

1. Мовний сигнал надходить на мовний кодек.

На цьому етапі мовний сигнал оцифровується й стискається по алгоритму CELP.

2. Далі сигнал надходить на блок завадостійкого кодування, що може виправляти до 3-х помилок у пакеті даних.

3. Далі сигнал надходить у блок перемеження сигналу.

Блок призначений для боротьби з пачками помилок в ефірі. Пачки помилок - перекручування декількох біт інформації підряд.

Принцип такої. Потік даних записується в матрицю по рядках. Як тільки матриця заповнена, починаємо з неї передавати інформацію зі стовпців. Отже, коли в ефірі спотворюються підряд трохи біт інформації, при прийманні пачка помилок, пройшовши через зворотну матрицю, перетвориться в одиночні помилки.

4. Далі сигнал надходить у блок кодування (від підслуховування).

На інформацію накладається маска (послідовність) довжиною 42 біта. Ця маска є секретною. При несанкціонованому перехопленні даних в ефірі неможливо декодувати сигнал, не знаючи маски. Метод перебору всіляких значень не ефективний тому що при генерації цієї маски, перебираючи всілякі значення, прийде генерувати 8.7 трильйона масок довжиною 42 біта. Хакер, користуючись персональним комп'ютером, пропускаючи через кожен маску сигнал і перетворюючи його у файл звукового формату, потім, розпізнаючи його на наявність мови, витратить багато часу.

5. Блок перемноження на код Уолша.

Цифровий потік даних перемножується на послідовність біт, сгенерованих по функції Уолша.

На цьому етапі кодування сигналу відбувається розширення спектра частот, тобто кожний біт інформації кодується послідовністю, побудованої по функції Уолша, довжиною 64 біта. Тобто швидкість потоку даних у каналі збільшується в 64 рази. Отже, у блоці модуляції сигналу швидкість маніпуляції сигналу зростає, звідси й розширення спектра частот.

Так само функція Уолша відповідає за відсівання непотрібної інформації від інших абонентів. У момент початку сеансу зв'язку абонентові призначається частота, на якій він буде працювати й один (з 64 можливих) логічний канал, що



визначає функція Уолша. У момент прийняття сигнал за схемою проходить у зворотну сторону. Прийнятий сигнал множиться на кодову послідовність Уолша

По результаті множення обчислюється кореляційний інтеграл.

Якщо  $Z$  гранична задовольняє граничному значенню, виходить, сигнал наш. Послідовність функції Уолша ортогональні й мають гарні кореляційними й автокореляційні властивості, тому ймовірність поплутати свій сигнал із чужим дорівнює 0.01 %.

6. Блок перемножування сигналу на дві М-Функції (М1 - довжиною 15 біт, М2 - довжиною 42 біта) або ще їх називають СП- селестічними послідовностями.

Блок призначений для перемішування сигналу для блоку модуляції. Кожній призначеній частоті призначаються різні М -функції.

7. Блок модуляції сигналу.

У стандарті CDMA використовується фазова модуляція ФМ4, ОФМ4.

## 2.4 Висновок

В ході виконання спеціальної частини дипломної роботи було розроблено спосіб та алгоритм кодування, що використовує розширений код Ріда-Мюллера першого порядку. Розроблено спосіб декодування, що використовує швидке зворотне перетворення Адамара. Розроблена структурна схема пристрою кодування/декодування системи мобільного зв'язку множинного доступу.

Вирішені основні проблеми які дозволили підвищити ефективність вживання методу кодового розподілу каналу, що дає можливість підвищити якість зв'язку, завадостійкість та, найголовніше, це зростання ефективності використання частотного діапазону.

## РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Визначення трудомісткості розробки й дослідження

Трудомісткість розробки й дослідження можна розрахувати по формулі:

$$t = t_0 + t_A + t_C + t_{\text{ч}} + t_{\text{и}} + t_{\text{д}}, \text{ людино-година,} \quad (3.1)$$

де  $t_0 = 4 \cdot 3 = 12$  людино-годин – витрати праці на підготовку й опис поставленого завдання;

$t_A = 5 \cdot 3 = 15$  людино-годин – витрати праці на розробку алгоритму рішення поставленого завдання;

$t_C = 3 \cdot 3 = 9$  людино-годин – витрати праці на розробку структурної схеми кодування/декодування сигналу;

$t_{\text{ч}} = 75 \cdot 3 = 225$  людино-годин – витрати праці на розробку методу кодування/декодування сигналу;

$t_{\text{и}} = 40 \cdot 3 = 120$  людино-годин – витрати праці на експериментальне дослідження застосування розробленого методу кодування/декодування сигналу та процедур;

$t_{\text{д}} = 30 \cdot 3 = 90$  людино-година – витрати праці на підготовку та оформлення документації за завданням.

$$t = 12 + 15 + 9 + 225 + 120 + 90 = 471 \text{ (людино-годин)}$$

### 3.2 Розрахунок витрат на розробку й експериментальне дослідження

Витрати на розробку й експериментальне дослідження складаються із двох частин:

- витрати на розробку й експериментальне дослідження;
- вартість експлуатації вимірювальних приладів при експериментальному дослідженні.

Витрати на розробку розраховуються за формулою:

$$K_{\text{ри}} = t \cdot C, \text{ грн.} \quad (3.2)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки й експериментального дослідження, людино-годин;

$C$  – мінімальна заобітна плата погаміста

$C = 14000 \cdot 1,37/176 = 108,97$  грн/год – мінімальна плата програміста з нарахуваннями.

$$K_{\text{ри}} = 471 \cdot 108,97 = 51324,87 \text{ грн}$$

Вартість експлуатації вимірювальних приладів при експериментальному дослідженні  $K_{\text{П}}$  має у собі дві складові:

- вартість спожитої електроенергії;
- амортизаційні відрахування.

Вартість спожитої електроенергії розраховується за формулою:

$$K_e = \Pi \cdot t_i \cdot K_i \cdot P \quad (3.3)$$

де  $\Pi = 1,82$  грн – ціна 1 кВт·год електроенергії;

$K_i = 0,7$  – коефіцієнт корисної дії вимірювальних приладів;

$P$  – споживана потужність використовуваних приладів.

$$K_e = 1,82 \cdot 120 \cdot 0,7 \cdot 0,25 = 38,22 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування:

$$K_A = \frac{t_s}{t_r} \cdot k \cdot \Pi \quad (3.4)$$

де  $t_r = 253$  день – кількість робочих днів у році;

$t_r = t_p \cdot 8 = 253 \cdot 8 = 2024$  (год.) – кількість робочих годин на рік;

$k = 60\%$  - норма амортизації;

$\Pi$  – балансова вартість комп'ютеру.

$$K_A = \frac{120}{2024} \cdot 0,6 \cdot 9378,00 = 333,6 \text{ грн}$$

Вартість експлуатації використовуваних приладів (комп'ютер) при експериментальному дослідженні:

$$K_{\text{П}} = K_e + K_A = 38,22 + 333,6 = 371,82 \text{ грн}$$

Витрати на розробку й експериментальне дослідження:

$$ДО = K_{\text{ри}} + K_{\text{п}} = 51324,87 + 371,82 = 51696,69, \text{ грн}$$

### 3.3 Витрати на придбання апаратної частини

Для написання кодеку необхідно також врахувати витрати на придбання необхідного приладдя:

- комп'ютер;
- речовий кодек;
- згортуючий кодер;
- блок кодування;
- блок модулювання.

Таблиця 3.1 – Загальна вартість розробки кодеку

Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Ціна без ПДВ, грн.	Сума без ПДВ, грн.
Комп'ютер	шт.	1	9378,00	9378,00
Витрати на розробку			51696,69	51696,69
Речовий кодек	шт.	1	280,00	280,00
Блок кодування	шт.	1	156,00	156,00
Згортуючий кодер	шт.	1	300,00	300,00
Блок модулювання	шт.	1	520,00	520,00
Всього				62330,69

Загальна вартість розробки складає 62330,69 грн.

### 3.4 Висновок

Економічні розрахунки, за результатами розробки методу кодування/декодування сигналів та експериментального дослідження застосування методу розподілу каналів показали, що вартість робіт з експериментального дослідження склала 62330,69 грн.

Завдяки розробленому методу кодування/декодування підвищується якість зв'язку та завадостійкість, також зростає ефективність використання частотного діапазону. Ці всі характеристики є дуже важливими для мобільного оператора, тому що підвищуючи їх у оператора підвищується кількість клієнтів.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи був зроблений аналіз та дослідження методів кодування в системах мобільного зв'язку множинного доступу. Був вибраний та обґрунтований оптимальний метод кодування для передачі інформації у мережах мобільного зв'язку.

Вибраний спосіб кодування підвищив наступні критерії при передачі сигналу в системі мобільного зв'язку:

- якість зв'язку;
- завадостійкість;
- зниження енергоспоживання;
- ефективність використання часового діапазону.

Також в ході виконання дипломного проекту був розроблений спосіб кодування що використовує розширений код Ріда-Мюллера першого порядку. Розроблений алгоритм та технічна схема реалізації кодування сигналу. Розроблений спосіб декодування, що використовує швидке зворотне перетворення Адамара та розроблена схема його технічної реалізації.

Виконана розробка структурної схеми пристрою кодування/декодування системи мобільного зв'язку множинного доступу.

В економічному розділі розраховані затрати на розробку та створення методу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Фомичев С.М., к.т.н., доц. Абилов А.В. «Обзор математических моделей каналов связи и их применение в телекоммуникационных системах» Ижевск 2001;
- 2 Аршинов М.Н., Садовский Л.Е. «Коды и математика» М.:Наука, 1983, - 144с.;
- 3 Дж. Кларк, мл., Дж. Кейн «Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи» Москва «Радио и связь» 1987;
- 4 Н.Л. Бирюков, В.К. Стеклов «Транспортные сети и системы электросвязи» Киев 2003;
- 5 Громаков Ю.А. «Стандарты и системы подвижной связи» Москва 1997;
- 6 Бернгард Складар «Цифровая связь» Москва-Санкт-Петербург-Киев 2003;
- 7 В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов «Системы мобильной связи» М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 272с.;
- 8 Эммануил Айфичер, Барри Джервис, «Цифровая обработка сигналов» Москва-Санкт-Петербург-Киев 2004;
- 9 Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. и др. «Цифровые и аналоговые системы передачи» М.: Радио и связь, 1995;
- 7 Радиоприемные устройства / Гуткин Л.С., Лебедев В.Л., Сифоров В.И. / Под ред. Сифорова В.И. — М.: Госэнергоиздат., 1961. — Ч. 1.
- 8 Голубев В.Н., Зимогляд В.Г. Оценка помехозащищенности главного тракта радиоприемника на основе использования функции распределения вероятностей уровней одиночных помех // Радиотехника — 1986. — № 10. — С. 2205—2208.
- 9 Польский Ю.Е., Ильин А.Г. Структура узкополосных шумов в оптических системах с гетеродинным приемом // Тезисы докладов 12

межреспубликанского симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере и водных средах. — Томск — 1993. — С.

10 Ильин А.Г. Повышение отношения сигнал/шум в лидарных системах с гетеродинным приемом // Тезисы докладов 12 межреспубликанского симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере и водных средах. — Томск — 1993. — С.



## ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи

<b>№</b>	<b>Формат</b>	<b>Найменування</b>	<b>Кількість листів</b>	<b>Примітка</b>
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	1 Розділ	20	
6	A4	2 Розділ	50	
7	A4	3 Розділ	4	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Список літератури	2	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

## ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

- 1 Титульна сторінка.doc
  - 2 Завдання.doc
  - 3 Реферат.doc
  - 4 Список умовних скорочень.doc
  - 5 Зміст.doc
  - 6 Вступ.doc
  - 7 Розділ 1.doc
  - 8 Розділ 2.doc
  - 9 Розділ 3.doc
  - 10 Висновки.doc
  - 11 Перелік посилань.doc
  - 12 Додаток А.doc
  - 13 Додаток Б.doc
  - 14 Додаток В.doc
  - 15 Додаток Г.doc
- Презентація.pptx

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

---

(підпис)

---

(ініціали, прізвище)

## ДОДАТОК Г. ВІДГУК

на дипломну роботу бакалавра на тему:

Удосконалення способу обміну службовою інформацією при передачі даних в  
мобільній системі зв'язку  
студента групи 172-16зск-1  
Найди Владислава Олеговича

Пояснювальна записка складається з титульного аркуша, завдання, реферату, списку умовних скорочень, змісту, вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків, розташованих на \_\_ сторінках та містить \_\_ рисунків, \_\_ таблиць, \_\_ джерел та \_\_ додатка.

Об'єкт досліджень: система мобільного зв'язку множинного доступу з кодовим розподілом каналу.

Ціль дипломної роботи: аналіз і дослідження методів кодування в системах мобільного зв'язку множинного доступу. Вибір і обґрунтування оптимального методу кодування для передачі інформації в мережах мобільного зв'язку, а також розробка обраного методу і його технічна реалізація.

У першому розділі були досліджені методи поділу каналів, обраний і обґрунтований метод кодування й загальної структури кодека.

У другому розділі був розроблений спосіб і алгоритм кодування, що використовує розширений код Ріда-Мюллера першого порядку. Розроблено спосіб і алгоритм декодування, що використовує швидке зворотне перетворення Адамара. А також розроблена структурна схема пристрою кодування/декодування системи мобільної зв'язку множинного доступу.

Зміст та структура дипломної роботи дозволяють розкрити поставлену тему повністю.

Студент показав достатній рівень володіння теоретичними положеннями з обраної теми, показав здатність формувати власну точку зору (теоретичну позицію).

Робота оформлена та написана грамотною мовою. Містить необхідний ілюстрований матеріал. Автор добре знає проблему, уміє формулювати наукові та практичні завдання і знаходить адекватні засоби для їх вирішення.

В цілому дипломна робота задовольняє усім вимогам і може бути допущена до захисту, а його автор заслуговує на оцінку «\_\_\_\_\_».

Керівник дипломної роботи,  
д.т.н., проф.

Корнієнко В.І.